



**Universidade de Aveiro** Departamento de Electrónica, Telecomunicações  
2012 e Informática

**TIAGO JOÃO  
GONÇALVES  
LINDEZA**

**CONCEPÇÃO, INTEGRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE  
SENSORES E ACTUADORES NUMA WSN**

**DESIGN, INTEGRATION AND EVALUATION OF  
SENSORS AND ACTUATORS IN A WSN**





**TIAGO JOÃO  
GONÇALVES  
LINDEZA**

**CONCEPÇÃO, INTEGRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE  
SENSORES E ACTUADORES NUMA WSN**

**DESIGN, INTEGRATION AND EVALUATION OF  
SENSORS AND ACTUATORS IN A WSN**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor José Alberto Gouveia Fonseca, Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro



Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



*À minha família, namorada e todos os que me  
ajudaram nesta caminhada.*



## **o júri**

Presidente

**Prof. Doutor Paulo Bacelar Reis Pedreiras**

professor auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Francisco Manuel Madureira e Castro Vasques de Carvalho**

professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Prof. Doutor José Alberto Gouveia Fonseca**

professor associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

**Mestre Paulo Jorge de Campos Bartolomeu**

assistente convidado da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda, Universidade de Aveiro



## agradecimentos

A realização de uma dissertação de mestrado, pela morosidade e exigência que apresenta, implica a conjugação de circunstâncias favoráveis, que permitem a realização desta etapa. Assim, gostaria de agradecer a todos os que me apoiaram a alcançar este objectivo académico.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Doutor José Alberto Fonseca pela oportunidade que me deu, possibilitando a realização da dissertação na empresa Micro I/O. A confiança depositada em mim, foi marcante. Um sincero agradecimento dirijo igualmente, ao Mestre Paulo Bartolomeu pela enorme dedicação, apoio e amizade durante esta longa caminhada.

Agradeço o apoio do “Compete – Programa Operacional Factores de Competitividade”, do “QREN – Quadro Referência Estratégico Nacional” e do “FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional” da União Europeia no âmbito do projecto *Living Usability Lab* – Laboratório Vivo de Utilização de Tecnologias Inovadoras para as Redes de Nova Geração.

Adicionalmente, agradeço também o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto DHT-Mesh: Serviços baseados em DHT para melhorar a escalabilidade de Redes em Malha com Elevada disponibilidade (PTDC/EEA-TEL/104185/2008).

A todos os colegas que se encontram na Micro I/O por terem facultado toda a informação necessária, pelo incentivo e companhia diária. Sublinho também, a amizade dos colegas de curso e amigos do Fundão, por todos os momentos partilhados.

À minha família, que apesar de estar longe esteve sempre comigo, apoiando-me na minha vocação e sendo o alicerce de todas as minhas pequenas conquistas.

À minha namorada por estar comigo lado a lado nos bons e maus momentos, porque uma montanha só é alcançada junto de quem gostamos, um passo de cada vez.



**palavras-chave**

Automação, rede, sem-fios, sensores, actuadores,

**resumo**

Os avanços tecnológicos das últimas décadas na área da medicina potenciaram a diminuição da taxa de mortalidade e o aumento da esperança média de vida, traduzindo-se num aumento da população idosa. No entanto, esta tendência não tem sido acompanhada de igual progresso ao nível da qualidade de vida desta população. A escassez de recursos dos serviços de apoio social a par do aumento da população idosa são condicionantes que colocam uma pressão forte sobre o funcionamento destas instituições.

É neste contexto que surge o projecto *Living Usability Lab* que, utilizando os mais recentes desenvolvimentos tecnológicos, permitirá criar um ambiente habitacional propício a auxiliar pessoas idosas a manter um estilo de vida activo e autónomo. O sistema de domótica habitacional *B-Live Wireless* da empresa Micro I/O é um dos sistemas desenvolvidos durante o projecto *Living Usability Lab*, tendo como objectivo a criação de uma rede local de sensores e actuadores sem-fios que permita a automação de habitações e a criação de mecanismos de apoio em caso de emergência.

Esta dissertação endereça o projecto, prototipagem e integração de um conjunto alargado de sensores e actuadores, com vista à sua utilização no Laboratório de Gerontologia da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro, ao abrigo do projecto *Living Usability Lab*.



**keywords**

Automation, network, wireless, sensors, actuators,

**abstract**

The advances in medicine of the last decades have fuelled a significant decrease in the population's mortality and increase in life expectancy, which results in an aging of the population. However, their quality of life has not been regarded with the same enthusiasm. The social services' scarce resources alongside with the increasing elder population are conditions that pose a strong pressure on the supporting institutions.

In this context, the Living Usability Lab project was devised to create a living environment, which allowed helping older people maintaining an active and autonomous life at home using the latest technical advances. The B-Live Wireless home automation system developed by Micro I/O was implemented during the Living Usability Lab project execution, with the goal of creating a local network of wireless sensors and actuators enabling the automation of houses and the creation of support mechanisms in case of an emergency.

This dissertation addresses the design, prototyping and integration of a wide range of sensors and actuators, to be used in the Gerontology Lab at the University of Aveiro within the scope of the Living Usability Lab.



# Índice

Lista de Figuras	XVII
Lista de Tabelas	XXI
Abreviaturas e Acrónimos	XXIII
<b>Capítulo 1</b>	1
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	4
1.3 Contribuições	4
1.4 Estrutura do trabalho	6
<b>Capítulo 2</b>	7
2. Estado da arte	7
2.1 Introdução	7
2.2 Requisitos	8
2.3 EnOcean	10
2.3.1 Topologia e Configuração	10
2.3.2 Funcionamento	11
2.3.3 Segurança	14
2.4 KNX/RF	14
2.4.1 Topologia e Configuração	15
2.4.2 Funcionamento	15
2.4.3 Segurança	17
2.5 ZigBee	17
2.5.1 IEEE 802.15.4	18
2.5.2 ZigBee Home Automation (HA)	21
2.6 Z-Wave	24
2.6.1 Topologia e Configuração	25
2.6.2 Funcionamento	26
2.6.3 Segurança	27

2.7 B-Live Wireless	27
2.7.1 Topologia e Configuração	28
2.7.2 Funcionamento	28
2.7.3 Segurança	30
2.8 Discussão	31
<b>Capítulo 3</b>	<b>35</b>
3. Integração de sensores e actuadores no protocolo B-Live Wireless	35
3.1 Funcionamento	36
3.1.1 Arquitectura global do sistema	36
3.1.2 Protocolo WFTT	37
3.1.3 Interacção entre dispositivos	39
3.2 Hardware	43
3.2.1 Placa $\mu$ MRFs	43
3.2.2 Sensores	44
3.2.3 Actuadores	45
3.3 Software	46
3.3.1 Arquitectura de Software	46
3.3.2 Camada de aplicação	48
<b>Capítulo 4</b>	<b>51</b>
4. Implementação	51
4.1 Tramas do Protocolo B-Live Wireless	51
4.2 Sensores	57
4.2.1 Sensores periódicos	58
4.2.2 Sensores não Periódicos	64
4.2.3 Sensores de Impacto	70
4.2.4 Sensores de Comparação	75
4.2.5 Outros Sensores	78
4.3 Actuadores	80
4.3.1 Actuadores ON/OFF	81

4.3.2 Outros Actuadores	84
4.4 Agregados	87
<b>Capítulo 5</b>	91
5. Validação	91
5.1 Metodologia	93
5.2 Resultados	96
5.3 Discussão	99
<b>Capítulo 6</b>	101
6. Conclusão	101
Bibliografia	103
Anexo A	105
Anexo B	107
Anexo C	108
Anexo D	110
Anexo E	111



## Índice de Figuras

Figura 2.1: Modelo OSI	7
Figura 2.2: Esquema de topologia de comunicação Peer-to-Peer	11
Figura 2.3:Arquitectura de um sistema EnOcean	11
Figura 2.4: Sub-telegrama EnOcean	12
Figura 2.5: Comandos existentes nos sistemas EnOcean	13
Figura 2.6: Formato de uma trama KNX / RF	16
Figura 2.7: Parte de uma trama do protocolo KNX / RF (block1)	16
Figura 2.8: Parte de uma trama do protocolo KNX / RF (block2)	17
Figura 2.9: Topologia de rede estrela	18
Figura 2.10: Formato de um PPDU	19
Figura 2.11: Formato de um MPDU	20
Figura 2.12: Topologia de rede mesh	22
Figura 2.13: Arquitectura de um sistema ZigBee	23
Figura 2.14: Formato de uma APDU	24
Figura 2.15: Trama de um sistema Z-Wave	26
Figura 2.16: Arquitectura de um sistema B-Live Wireless	29
Figura 2.17: Trama genérica do protocolo B-Live Wireless	29
Figura 3.1: Ligações entre os elementos do sistema B-Live Wireless	37
Figura 3.2: Esquema de funcionamento do Protocolo WFTT	39
Figura 3.3: Exemplo de comunicação de um sensor	40
Figura 3.4: Exemplo de uma retransmissão bem-sucedida	40
Figura 3.5: Exemplo de retransmissões falhadas	41
Figura 3.6: Exemplo de um pedido de actuação por um sensor	41

Figura 3.7: Exemplo de pedido de actuação do utilizador	42
Figura 3.8: Imagem da placa $\mu$ MRFs	43
Figura 3.9: Esquema de montagem de um sensor/actuador	44
Figura 3.10: Esquema de montagem de um sensor	45
Figura 3.11: Esquema de montagem de um actuador	45
Figura 3.12: Arquitectura de software por camadas	46
Figura 3.13: Esquema da arquitectura da camada de aplicação	48
Figura 4.1: Trama genérica do protocolo B-Live Wireless	52
Figura 4.2: Valores dos níveis de bateria no protocolo B-Live Wireless	53
Figura 4.3: Trama de ordem enviada pelo gateway no protocolo B-Live Wireless	54
Figura 4.4: Trama de ordem enviada por um sensor	54
Figura 4.5: Trama de uma mensagem de localização	54
Figura 4.6: Trama de uma mensagem de estado	55
Figura 4.7: Trama de uma mensagem de pedido de estado	55
Figura 4.8: Trama de configuração do protocolo B-Live Wireless	56
Figura 4.9: Trama de alteração de endereços	56
Figura 4.10: Trama de acknowledge	56
Figura 4.11: Fluxograma de funcionamento dos sensores periódicos	58
Figura 4.12: Fluxograma da função de envio de mensagens	59
Figura 4.13: Esquema de montagem do sensor de temperatura	60
Figura 4.14: Esquema de montagem do sensor de luminosidade	61
Figura 4.15: Gráfico comparativa da sensibilidade espectral do olho humano	62
Figura 4.16: Sensor de distância SRF 02	63
Figura 4.17: Esquema de montagem do sensor de distância	63
Figura 4.18: Fluxograma de funcionamento dos sensores não periódicos	65
Figura 4.19: Esquema de montagem dos sensores magnéticos	66
Figura 4.20: Esquema de montagem dos sensores PIR	67
Figura 4.21: Esquema de integração do sensor de fumo no protocolo B-Live Wireless	69
Figura 4.22: Esquema representativo do sinal do buzzer do sensor de fumo	69

Figura 4.23: Esquema de montagem dos sensores piezoelétricos	71
Figura 4.24: Esquema de montagem dos sensores capacitivos	72
Figura 4.25: Esquema de montagem do sensor capacitivo com circuito de redução do consumo	74
Figura 4.26: Fluxograma de funcionamento dos sensores de comparação	76
Figura 4.27: Esquema de montagem dos sensores piezoresistivos	77
Figura 4.28: Esquema de montagem dos sensores de corrente	79
Figura 4.29: Fluxograma de funcionamento de um actuador ON / OFF	82
Figura 4.30: Esquema de montagem de um actuador ON / OFF	83
Figura 4.31: Fluxograma de funcionamento dos actuadores de estores	85
Figura 4.32: Campo de configuração do buzzer	86
Figura 4.33: Esquema de ligação do buzzer	87
Figura 4.34: Campos frame type, data e fim de trama de uma trama B-Live Wireless	88
Figura 4.35: Fluxograma de funcionamento de um agregado	89
Figura 4.36: Esquema de ligação de um agregado	90
Figura 5.1: Selecção de campos de interesse de trama de estado	93
Figura 5.2: Selecção de campos de interesse de pedido de actuação do gateway	94
Figura 5.3: Selecção de campos de interesse de um acknowledge do controlador	94
Figura 5.4: Exemplo de uma trama recebida pelo sistema de registo de eventos	94
Figura 5.5: Resultados de um dia de teste global ao sistema	97
Figura D: Folha individual de teste	110
Figura E: Diagrama temporal dos resultados obtidos na fase de teste global do sistema	111



## Índice de Tabelas

Tabela 1.1: Contribuições no sistema B-Live Wireless	5
Tabela 2.1: Características dos sistemas EnOcean	10
Tabela 2.2: Características dos sistemas KNX / RF	14
Tabela 2.3: Características dos sistemas ZigBee	21
Tabela 2.4: Características dos sistemas Z-Wave	25
Tabela 2.5: Características de um sistema B-Live Wireless	27
Tabela 2.6: Tabela comparativa dos sistemas de domótica	32
Tabela 4.1: Características do sensor de temperatura	61
Tabela 4.2: Características do sensor de luminosidade	62
Tabela 4.3: Características do sensor de distância	64
Tabela 4.4: Características do sensor magnético	66
Tabela 4.5: Características do sensor PIR	68
Tabela 4.6: Características do sensor de fumo	70
Tabela 4.7: Características do sensor piezoeléctrico	71
Tabela 4.8: Características do sensor capacitivo	73
Tabela 4.9: Características do sensor piezoresistivo	78
Tabela 4.10: Características do sensor de corrente	80
Tabela 4.11: Características de um actuador ON / OFF	84
Tabela 4.12: Características do actuador buzzer	87
Tabela 4.13: Convenção de utilização de pinos de entradas e saída	90
Tabela 5.1: Numeração dos dispositivos em teste	95
Tabela 5.2: Resultados dos testes individuais	96
Tabela 5.3: Resultados de teste global do sistema	98
Tabela A.1: Valores do campo Src. Sct / Dst. Sct	105
Tabela A.2: Valores do campo Src. Room / Dst. Room	105
Tabela A.3: Valores do campo Src. Group / Dst. Group	106

Tabela A.4: Valores do campo Src. ID / Dst. ID	106
Tabela B.1: Valores referentes ao campo Out 1 e Out 2	107
Tabela B.2: Valores referentes ao campo In 1 e In 2	107
Tabela C.1: Valores de actuação do campo Out 1 e Out 2	108
Tabela C.2: Valores de actuação do campo In 1 e In 2	109

## ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

APS	-	<i>Application support sub-layer</i>
AES	-	<i>Advanced Encryption Standard</i>
bps	-	<i>Bits per second</i>
CSMA/CA	-	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CCA	-	<i>Clear Channel Assesment</i>
Dst	-	<i>Destination</i>
ED	-	<i>Receiver Energy Detection</i>
EEPROM	-	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
ESSUA	-	<i>Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro</i>
ETS	-	<i>Engineering Tool Software</i>
GND	-	<i>Ground</i>
I/O	-	<i>Input/Output</i>
ICD	-	<i>In-Circuit Debugger</i>
ISM band	-	<i>Industrial, Scientific and Medical radio band</i>
Kbps	-	<i>Kilobits per second</i>
KHz	-	<i>Kilo Hertz</i>
LAN	-	<i>Local Area Network</i>
LQI	-	<i>Link Quality Indication</i>
LUL	-	<i>Living Usability Lab</i>
MAC	-	<i>Media Access Control</i>
MHz	-	<i>Mega Hertz</i>
MIPS	-	<i>Millions of Instructions Per Second</i>
MRF	-	<i>Abreviatura para o modulo MRF24J40</i>
ms	-	<i>Milissegundo</i>
MSFT	-	<i>Microsoft</i>
OSI	-	<i>Open Systems Interconnection</i>
P2P	-	<i>Peer-To-Peer</i>
PAN	-	<i>Personal Area Network</i>
PIC	-	<i>Programmable Interface Controller</i>
PW	-	<i>Protected Window</i>
RAM	-	<i>Random Access Memory</i>
RS232	-	<i>Recommended Standard 232</i>

SPI	-	<i>Serial Peripheral Interface</i>
seg	-	<i>Segundos</i>
Src	-	<i>Source</i>
TDMA	-	<i>Time Division Multiple Access</i>
UART	-	<i>Universal Asynchronous Receiver and Transmitter</i>
μs	-	<i>Microsegundo</i>
μWs	-	<i>MicroWatts</i>
VCC	-	<i>Common Colector Voltage</i>
WFTT	-	<i>Wireless Flexible Time-Triggered</i>
Wi-Fi	-	<i>Wireless Fidelity</i>
WLAN	-	<i>Wireless Local Area Network</i>
WPAN	-	<i>Wireless Personal Area Network</i>

# CAPÍTULO 1

---

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Enquadramento

O acto de envelhecer é um privilégio concedido apenas a alguns, sendo que a maneira de o vivenciar está dependente de todos nós. A prosperidade em que vivemos durante vários anos, o avanço tecnológico na medicina e a enorme taxa de natalidade registada entre a década de 40 e 60 levou a que hoje em dia, a população dos países mais desenvolvidos esteja a envelhecer a um ritmo considerável.

Enquanto no início do século XX a população era maioritariamente formada por crianças, jovens e adultos de meia-idade, no século XXI a percentagem de idosos no mundo aumentou significativamente e Portugal não é excepção, registando taxas de natalidade e mortalidade reduzidas [1]. Efectivamente, em muitos casos, após os 65 anos o indivíduo deixa de ser visto pela sociedade como alguém útil, válido e responsável, passando a ser rejeitado ou pelo menos marginalizado por uma sociedade competitiva, para a qual deixou de ter valor. Neste sentido, é essencial uma contribuição sólida da população activa para com aqueles que mais precisam, promovendo apoios sociais e criando melhores condições de vida. Deve existir, portanto, além da preocupação com a longevidade, um esforço de sensibilização para com a melhoria da qualidade de vida sénior.

É neste contexto que surge o projecto *Living Usability Lab* (LUL), com o intuito de utilizar os mais recentes desenvolvimentos tecnológicos para a criação de um ambiente habitacional controlado, de forma a apoiar idosos e demais utilizadores em tarefas básicas, como controlar uma lâmpada ou abrir uma porta. Para além de simplificar o uso dos elementos da habitação, o projecto LUL possui diversas potencialidades direccionadas para o utilizador, sendo o culminar de um trabalho que envolve várias empresas e instituições académicas.

Para demonstração das suas funcionalidades, um sistema piloto deste projecto será instalado no Laboratório de Gerontologia da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro, contando para isso com o contributo dos vários co-promotores:

- Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto – Sistema de localização *indoor* baseado em vídeo;
- MSFT *Software* para microcomputadores - Sistema de interacção multimodal para controlo de dispositivos multimédia na habitação;
- Instituto de Engenharia Electrónica e Telemática de Aveiro - robô de apoio a idosos;
- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Sistema de localização *indoor* baseado em vídeo;
- PLUX, Engenharia de Biosensores - Sistema de monitorização de biosinais;
- Micro I/O, Serviços de Electrónica - Rede local de comunicações sem-fios de suporte a sensores e actuadores (sistema B-Live Wireless).

### **B-Live Wireless**

O sistema B-Live Wireless desenvolvido pela empresa Micro I/O é uma solução de domótica sem-fios, implementada segundo o padrão IEEE 802.15.4, que pretende apoiar idosos auxiliando e facilitando a utilização dos elementos da habitação, monitorizando as condições de saúde do utilizador e disponibilizando mecanismos de actuação em casos de emergência.

Este projecto surge no seguimento do sistema B-Live, uma solução de domótica habitacional cablada que, apesar de bem-sucedido (vencedor do prémio Jaime Filipe em 2007) e de ser bastante robusto, possui limitações de instalação e estéticas que tornam difícil a sua implementação em habitações mais antigas. A solução foi a adaptação deste sistema para incorporar comunicações sem-fios, o que permitiu diminuir os custos de instalação e, por suportar dispositivos móveis, aumentar a sua versatilidade na localização da casa.

Neste sentido, de forma a efectuar uma pré-avaliação do sistema B-Live Wireless, foi implementado, em Janeiro de 2012, um pré-piloto na empresa Micro I/O, contando com vários elementos, entre eles:

- Servidor
- *Gateway*
- Controlador
- Sensores magnéticos de abertura e fecho de portas.
- Sensores capacitivos com função de interruptor.
- Sensores piezoeléctricos para detecção de impactos.
- Sensor de distância.
- Actuador para ligar e desligar lâmpadas.
- Actuador para ligar e desligar tomadas.
- *Buzzer* para sinalização de eventos.

Foi por isso, possível realizar ensaios preliminares ao sistema B-Live Wireless antes de se avançar para o piloto final a ser instalado no Laboratório de Gerontologia da ESSUA em Setembro de 2012. O piloto contará com uma gama de equipamentos mais alargada.

## **1.2. Objectivos**

Esta dissertação pretende dar continuidade ao projecto de implementação de uma rede de comunicações sem-fios, de tempo-real para domótica habitacional, contribuindo na integração e avaliação dos elementos actuadores e sensores presentes no sistema. Neste âmbito está previsto o projecto, implementação e integração de vários sensores e actuadores no sistema referido, culminando na prototipagem e instalação de um demonstrador no Laboratório de Gerontologia da ESSUA.

## **1.3. Contribuições**

Esta dissertação partiu de trabalho anterior [2] onde foi definido e implementado o protocolo de comunicações do sistema B-Live Wireless. Adicionalmente, no âmbito de uma dissertação de mestrado [3], foram também estudados alguns sensores e actuadores, tendo sido abordados e propostos circuitos de acondicionamento de sinal que, permitem ligar os sensores e actuadores identificados a uma placa de controlo para recolha de informação ou actuação.

Esta dissertação contribui para o sistema B-Live Wireless em várias perspectivas, nomeadamente, no projecto, implementação, prototipagem e integração de vários sensores e actuadores, na optimização do consumo dos dispositivos desenvolvidos, na implementação do algoritmo de retransmissão de tramas e na reformulação do protocolo de forma a uniformizar as mensagens enviadas por sensores e actuadores. Em seguida, é apresentada a Tabela 1.1 que resume explicitamente as contribuições realizadas em cada dispositivo.

<b>Descrição</b>	<b>Projecto</b>	<b>Implementação</b>	<b>Integração B-Live Wireless</b>	<b>Optimização</b>
<b>Sensor Temperatura</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>
<b>Sensor Luminosidade</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>
<b>Sensor Distância</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>
<b>Sensor Fumo</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>
<b>Sensor PIR</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>
<b>Sensor Magnético</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>
<b>Sensor Piezoeléctrico</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>N</b>
<b>Sensor capacitivo</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>S</b>
<b>Sensor Piezoresistivo</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>
<b>Sensor Corrente</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>N</b>
<b>Actuador ON /OFF</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>N</b>
<b>Buzzer</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>N</b>

**Legenda:** S – Sim; N – Não.

*Tabela 1.1: Contribuições no sistema B-Live Wireless*

## 1.4 Estrutura do trabalho

A estrutura desta dissertação contempla cinco capítulos distintos. Inicialmente é apresentada uma breve visão geral do contexto em que se insere, referindo também a motivação para a sua realização e os objectivos associados. Por ser desenvolvida ao abrigo de um projecto extenso que conta com a participação de vários colaboradores, são também enumeradas, neste primeiro capítulo, as contribuições decorrentes deste trabalho.

De seguida, são apresentadas as principais soluções de domótica sem-fios presentes no mercado, incluindo o sistema alvo desta dissertação, B-Live Wireless. De forma a melhor identificar as vantagens e desvantagens de cada produto, no final do segundo capítulo é realizada uma análise comparativa entre os sistemas identificados.

O B-Live Wireless é um sistema com uma arquitectura composta por vários elementos e um protocolo proprietário que, permite garantir a pontualidade das comunicações entre alguns dispositivos. O terceiro capítulo apresenta a informação de suporte necessária ao entendimento do sistema, providenciando pormenores sobre a sua arquitectura geral, protocolo WFTT e protocolo de comunicação entre dispositivos, bem como todo o *hardware* e *software* desenvolvidos.

O desenvolvimento efectuado no âmbito desta dissertação é descrito no quarto capítulo, encontrando-se nesta secção o projecto e integração de sensores e actuadores, incluindo a especificação do respectivo funcionamento. A validação dos sensores e actuadores desenvolvidos é documentada no capítulo cinco. Por fim, no sexto capítulo, é efectuada uma análise crítica ao trabalho desenvolvido, indicando possíveis melhorias futuras.

# CAPÍTULO 2

---

## 2. Estado da Arte

### 2.1. Introdução

De forma a ser efectuado um estudo aprofundado das técnicas de implementação de um protocolo de comunicação, são abordadas neste capítulo, algumas das principais tecnologias alternativas com suporte para sistemas domóticos. Assim, pretende-se estabelecer termos de comparação com o protocolo alvo desta dissertação, tendo em vista possíveis melhoramentos futuros.

Os protocolos de comunicação são, hoje em dia, uma das peças fundamentais na implementação de sistemas de comunicação. Estes permitem definir uma convenção semântica de transferência de dados, que possibilita a troca de informação relevante sobre o seu funcionamento. Para uma melhor organização e divisão de tarefas, os protocolos são implementados em camadas, sendo o modelo mais utilizado o modelo OSI (Figura 2.1).



Figura 2.1: Modelo OSI (obtida [4])

Na presente dissertação será dado maior ênfase à camada “Ligação de dados”, sendo que antes de se analisar alguns exemplos de protocolos de comunicação existentes no mercado, torna-se necessário efectuar uma breve apresentação das principais características desejadas na implementação de um protocolo de comunicação, tendo em conta a sua utilização na automação de pequenas habitações.

## **2.2. Requisitos**

Antes de serem discutidos os principais requisitos de um protocolo de comunicação, será efectuada uma pequena análise das características pretendidas num sistema de automação habitacional.

A velocidade de resposta de um sistema é do ponto de vista do utilizador a primeira nota de qualidade, assim é necessário garantir que estes respondem num curto espaço de tempo, de maneira a que os atrasos produzidos não sejam perceptíveis. É também importante que estes sejam sistemas robustos não permitindo falhas, sendo neste aspecto a segurança contra ataques exteriores um factor prioritário.

Por se basearem em sistemas mecânicos, sujeitos apenas ao desgaste das peças, os equipamentos das habitações hoje em dia, possuem um elevado tempo de vida, pelo que a mesma garantia é necessária para os sistemas de automação. Por fim, é desejável que os sistemas de domótica sejam dinâmicos e inteligentes sem a necessidade de um aumento da complexidade de utilização. Neste sentido, mecanismos de configuração automática e interfaces simples de comunicação com o utilizador desempenham um papel fundamental.

Para além das preocupações do cliente, é essencial ter em atenção as limitações impostas ao fabricante, em termos de custo e tecnologia existente, o que implica que muitas vezes seja necessário proceder a alguns compromissos, ou seja, balancear os recursos disponíveis de maneira a abranger o maior número de funcionalidades pretendidas.

À luz do alvo de estudo, habitações comuns de pequenas dimensões, são de seguida apresentados os requisitos necessários à implementação de um protocolo de comunicação para automação habitacional, tendo por base os aspectos destacados anteriormente, velocidade, segurança, tempo de vida, simplicidade e custos:

Taxa de transferência suficiente – Uma elevada taxa de transferência permite reduzir os tempos de resposta dos elementos e aumentar a complexidade da informação transmitida, sendo que por outro lado aumenta o custo final do produto. No âmbito da domótica habitacional, é importante garantir que os atrasos introduzidos na transmissão de informação, não provocam uma utilização lenta e incómoda para o utilizador.

Robustez e segurança nas transmissões – Este é um dos pontos críticos de todos os protocolos de comunicação. A falta de segurança contra ataques ou simplesmente a existência de interferências no canal de comunicação, são factores cruciais a contornar.

Baixo consumo energético – Nos dias de hoje para além de ser uma preocupação ambiental, a redução dos gastos eléctricos desnecessários permite um aumento do tempo de vida dos sistemas.

Configuração da rede automática e dinâmica – De maneira a que seja possível uma utilização simples do sistema por parte do utilizador, é necessária a existência de mecanismos automáticos de gestão e controlo da rede.

Licença de utilização preferencialmente gratuita – O espectro de frequências de operação pode necessitar do pagamento de uma licença de aluguer, influenciando o custo final do produto.

Número de dispositivos suportados não limitativo – Com o desenvolvimento dos sistemas de automação habitacional, surgirão necessariamente inúmeros dispositivos de actuação e controlo, assim é necessário que o protocolo utilizado garanta o endereçamento diferenciado de todos eles.

Após esta identificação de requisitos, são em seguida abordados alguns dos principais protocolos de comunicação sem-fios para domótica habitacional, existentes no mercado.

## 2.3. EnOcean

A EnOcean [5] é uma empresa alemã que detém uma tecnologia sensorial baseada em *energy harvesting*, ou seja, utiliza a energia presente no ambiente para soluções de automação habitacional e industrial. Assim, através de painéis solares, termopares, piezogeradores, entre outros, consegue manter uma rede de sensores sem a utilização de baterias durante vários anos.

Apesar de utilizar recursos energéticos reduzidos (cerca de  $50\mu\text{Ws}$ ), estes dispositivos são capazes de transmitir pequenos pacotes (*payload* máximo de 6 bytes) até aproximadamente 300 metros, com uma taxa de transmissão de cerca de 125kbps. Utiliza a frequência de operação dos 868 Mhz, não necessitando de aluguer de utilização na Europa. A tabela seguinte resume as principais características do protocolo EnOcean

EnOcean	
Frequência de Operação	868Mhz
Taxa de transmissão	125kBps
Nº de dispositivos suportado	4.300.000.000
Licença de utilização do espectro	Não
Alcance máximo	300m( <i>outdoor</i> ) / 30m ( <i>indoor</i> )

Tabela 2.1: Características dos sistemas EnOcean

### 2.3.1 Topologia e Configuração

A topologia de comunicação utilizada pelos sistemas EnOcean é *Peer-to-Peer* [6] (P2P ou Ponto a Ponto) em que cada nó da rede pode efectuar uma comunicação com outro, não sendo sempre necessária a presença de um nó intermédio (Figura 2.2). No entanto, para um melhor aproveitamento da energia dos dispositivos, estas comunicações

são geralmente unidireccionais, ou seja, um nó tem a função de transmissor e outro de receptor, não necessitando este último de possuir um módulo de transmissão.

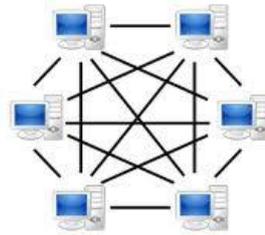


Figura 2.2: Esquema de topologia de comunicação Peer-to-Peer (obtida de [6])

A configuração dos diferentes elementos da rede pode ser efectuada através de um *software* designado por ETS (*Engineering Tool Software*). Este permite a gestão e inicialização da rede, através da inclusão dos vários dispositivos do sistema, bem como a alteração dos parâmetros da rede.

### 2.3.2 Funcionamento

O funcionamento global de um sistema EnOcean pode ser observado na Figura 2.3, existindo quatro tipos de dispositivos diferentes: sensores, actuadores, controladores e um *gateway*.

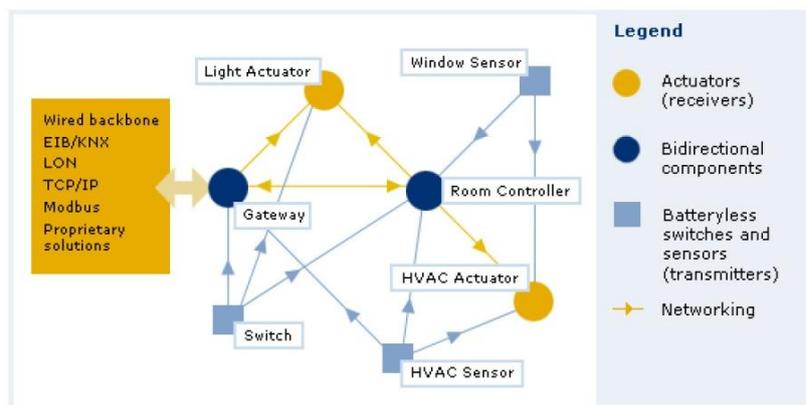


Figura 2.3: Arquitectura de um sistema EnOcean (obtida de [7])

Os dispositivos sensores têm a função de recolher informação sobre o ambiente da habitação, enquanto os actuadores permitem a interacção com este. O *gateway* e controladores são dispositivos bidireccionais que gerem e mantêm a rede, sendo que o *gateway* permite também efectuar as comunicações pretendidas pelo utilizador.

A comunicação entre os vários elementos da rede é efectuada através do envio de mensagens (no protocolo EnOcean designadas por sub-telegramas), com informação de endereçamento, dados e controle. Um exemplo de um sub-telegrama está representado na Figura 2.4, sendo constituído pelos seguintes campos: “RORG” com a identificação sobre o tipo de sub-telegrama; “Data” de tamanho variável, com os dados do dispositivo; “Tx ID / Source ID” com a identificação do nó emissor ou receptor; “STATUS” com informação sobre se a mensagem provém de um repetidor ou do dispositivo original e o mecanismo de verificação de integridade utilizado; “HASH” com o *sequence number* da mensagem, possuindo cada uma, um número distinto.



Figura 2.4: Sub-telegrama EnOcean (obtida de [8])

**Legenda:**

**RORG** – Tipo de sub-telegrama.

**DATA** – Contém o *payload* do sub-telegrama transmitido.

**TXID / Source ID** – Identifica o transmissor/receptor

**STATUS** – Indica se o sub-telegrama é transmitido por um repetidor e mecanismo de verificação de integridade

**HASH / Checksum** – Verifica a validade da trama enviada

Para uma redução do consumo de energia, não foram implementados mecanismos de *acknowledge*, assim, cada nó da rede envia a mesma mensagem (sub-telegrama) três vezes, em períodos distintos para evitar colisões de pacotes. O conjunto das três mensagens emitidas designa-se por telegrama. Em alguns dispositivos é também usado o mecanismo de “*Listen Before Talk*”, que possibilita verificar se o canal está a ser usado antes de transmitir o telegrama.

Por fim, para aumentar o alcance e a robustez no envio de mensagens, alguns dispositivos possuem a função de repetidores, reencaminhando as mensagens recebidas para os dispositivos de destino. É também disponibilizado pela EnOcean um *software* de controlo remoto (*Remote Management*) dos elementos do sistema, sendo os comandos descritos na Figura 2.5.

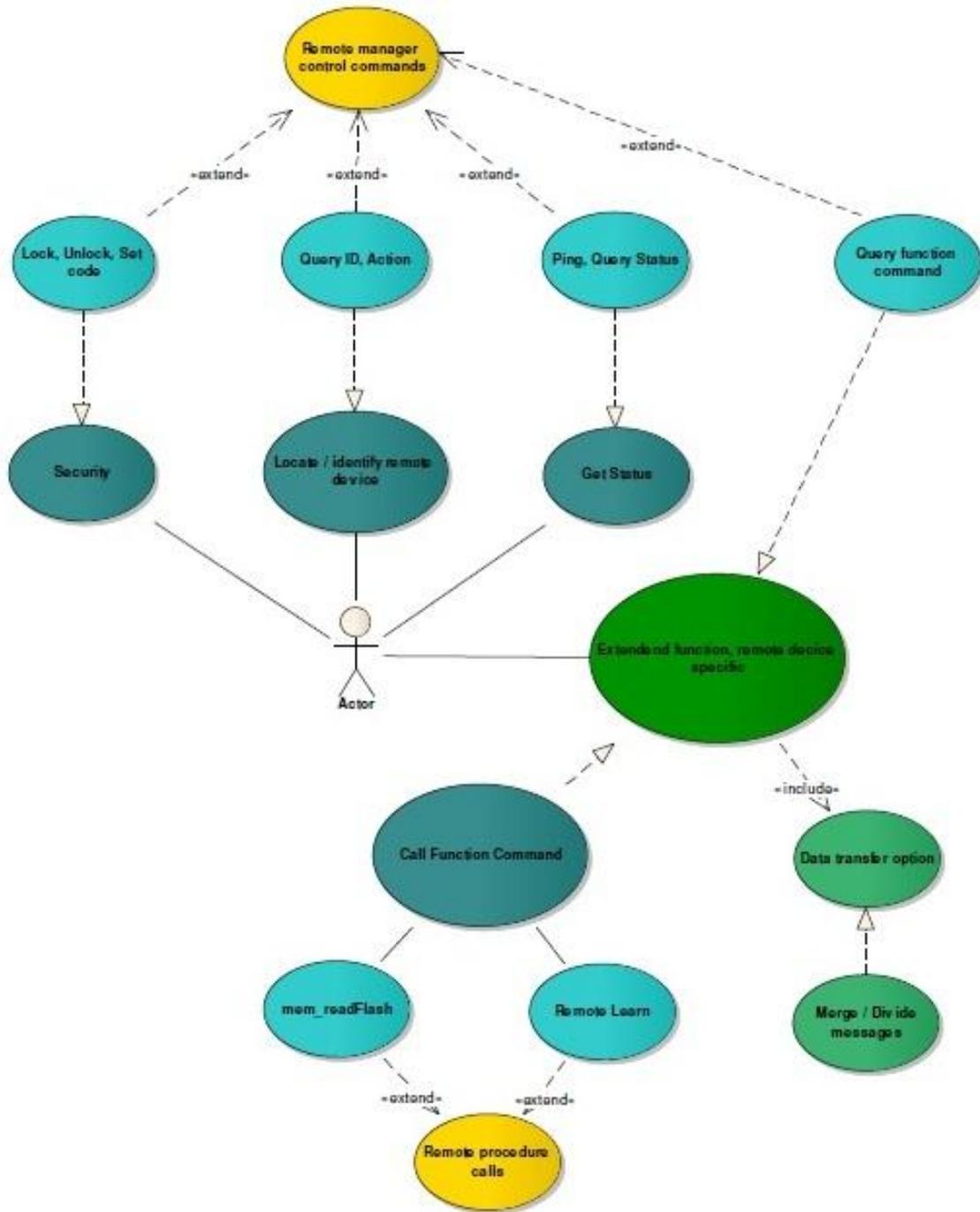


Figura 2.5: Comandos existentes nos sistemas EnOcean (obtida de [8])

### 2.3.3. Segurança

Não é disponibilizada informação relacionada com a segurança de transmissão de mensagens entre os dispositivos, no entanto em relação à sua configuração existem dois mecanismos.

A introdução de uma chave de segurança de 32 bits, a qual desbloqueia o dispositivo por trinta minutos para receber comandos de configuração ou, caso ainda não tenha sido efectuada a inserção da chave de segurança, é possível configurar o dispositivo trinta minutos após ter sido ligado.

## 2.4. KNX / RF

O KNX [9] é um protocolo de comunicação bastante popular, baseado no *standart* EIB (*European Installation Bus*), desenvolvido pela empresa Konnex com o intuito de competir com o mercado externo, nomeadamente Estados Unidos e Japão, sendo neste momento uma referência a nível mundial.

Este protocolo permite gerir e controlar uma rede de sensores numa habitação ou espaço industrial utilizando a frequência de operação dos 868 Mhz. Apesar da sua taxa de transmissão ser bastante reduzida (16 kBps), em relação a outros protocolos, o facto de estar há bastante tempo no mercado mundial, permitiu refinar o sistema em termos de segurança, robustez e configuração, como veremos de seguida. A tabela seguinte resume as principais características do protocolo KNX / RF.

KNX / RF	
Frequência de Operação	868Mhz
Taxa de transmissão	16kBps
Nº de dispositivos suportado	65536
Licença de utilização do espectro	Não
Alcance	800m outdoor[10]

Tabela 2.2: Características dos sistemas KNX / RF

### 2.4.1. Topologia e Configuração

O aperfeiçoamento e automação do sistema de configuração, tem sido uma das grandes preocupações no desenvolvimento destes serviços. No caso do KNX estão disponíveis três modos de configuração o S-Mode, E-Mode e A-Mode.

O modo S-Mode (ou *System Mode*) é o mais usual, permitindo ao utilizador efectuar as configurações de rede pretendidas, através de um *software* designado por ETS (*Engineering Tool Software*). No entanto, para cada dispositivo é necessária a inserção das suas funcionalidades na base de dados do ETS. De forma a simplificar o processo, o fabricante de cada elemento é responsável por incluir juntamente com o dispositivo, um ficheiro de instalação na base de dados.

O E-mode (ou *Easy Mode*) ao contrário do S-Mode, deixa a complexidade de configuração para os dispositivos, sendo que todos possuem as configurações necessárias à sua implementação. O modo de activação destas, pode ser através de *push-buttons*, *dip-switches* ou dispositivos controladores que, ao detectarem um novo elemento efectuem a sua inserção na rede.

Por fim o A-mode (*Automatic Mode*) é um modo de configuração automático no qual o utilizador não tem interferência. Foi desenvolvido para clientes com poucos conhecimentos de rede, utilizando rotinas de configuração e gestão dinâmica.

Quanto à topologia de rede implementada, esta consiste num conjunto de sensores e actuadores que comunicam entre si, utilizando topologia *Peer-to-Peer* ou *one-to-many* (um dispositivo pode comunicar para vários), semelhante ao apresentado no sub-capítulo anterior.

### 2.4.2. Funcionamento

O funcionamento do protocolo KNX é bastante semelhante ao apresentado para o sistema EnOcean, sendo constituído por sensores, actuadores, controladores e um servidor. Uma rede KNX/RF está dividida por áreas, existindo em cada uma delas várias sub-redes. Para cada sub-rede é necessário um controlador que efectue a sua gestão, podendo conter até 255 dispositivos. O servidor por seu lado, recebe toda a informação dos controladores

presentes, e efectua o armazenamento de informação, gestão de rede e ligação com o utilizador.

O protocolo KNX, em contraste com o sistema EnOcean, utiliza uma trama com tamanho relativamente longo. Sendo constituída por: “*Preamble*”, utilizado para sincronização do receptor; “*Block 1*”, com informação de controlo e *serial number* do dispositivo, num total de 10 *bytes*; “*Block 2*” com informação de endereçamento, controlo e dados (16 *bytes*); “*Postamble*” com a função de sinalizar o final da mensagem.

De acordo com o tamanho da informação a transmitir podem haver mais blocos de informação. Entre cada um, existe um campo de verificação de *Checksum*<sup>1</sup> (CRC de 2 *bytes*). Na Figura 2.6 é possível observar uma trama KNX completa.



Figura 2.6: Formato de uma trama KNX / RF (obtida de [11])

Para uma melhor compreensão é apresentado na Figura 2.7 e 2.8 os *bytes* relativos ao *block 1* e *2* respectivamente.

Block 1											
Length	C-Field	Esc	Ctrl	SN	SN	SN	SN	SN	SN	CRC hi	CRC lo
0x11	0x44	0xFF	0x03								

Figura 2.7: Parte de uma trama do protocolo KNX / RF (*block1*) (obtida de [12])

**Legenda:**

**Length** – Indica o tamanho da trama.

**C-Field, Esc e Ctrl** – Bytes de controle.

**SN** – Serial Number do dispositivo.

**CRC hi e CRC lo** – Informação de *Checksum*.

---

<sup>1</sup> *Checksum* – Verificação de erros na trama, através da soma dos dados antes e após a transmissão.

Block 2											
KNX-Ctrl	Src hi	Src lo	Dst hi	Dst lo	L/NPCI	TPCI	APCI	Data	...	CRC hi	CRC lo
0x00	0x05	0xFF	0x00	0x01	0xE6	0x00	0x81				

Figura 2.8: Parte de uma trama do protocolo KNX / RF (block2) (obtida de [12])

**Legenda:**

**KNX-Ctrl** – Indica a prioridade da trama e o tamanho desta (*Standart* ou *Extendida*).

**Src hi e Src lo** – Identifica o dispositivo transmissor.

**Dst hi e Dst lo** – Identifica o receptor que pode ser *unicast* ou *multicast*.

**L/NPCI** – Responsável pela comunicação na camada de rede.

**TPCI** – Responsável pela comunicação na camada de transporte.

**APCI** – Responsável por serviços na camada de aplicação.

**DATA** – Contém a informação enviada pelo dispositivo.

**CRC hi e CRC lo** – Informação de *Checksum*.

### 2.4.3. Segurança

A informação sobre segurança no sistema KNX / RF é escassa, sendo possível verificar que não possui encriptação. Por outro lado, para evitar a interferência entre comunicações KNX de locais muito próximos, foi implementada uma extensão dos endereços dos dispositivos, através da combinação do seu endereço com o *serial number* (6 bytes).

## 2.5. ZigBee

O protocolo de comunicação *wireless* ZigBee [13] foi desenvolvido por uma associação sem fins lucrativos que pretende criar *standards* de comunicação para conceber redes flexíveis, de baixo consumo eléctrico e custo, que permitam de maneira simples interligar vários dispositivos diferentes, constituindo a domótica uma das áreas de maior relevo. Esta tecnologia, como veremos de seguida, define as camadas de Rede e aplicação da arquitectura OSI, estando implementadas sobre o protocolo IEEE 802.15.4 [14] (referente à camada “Ligação de Dados” e “Física”). Uma vez que esta tecnologia possui a mesma base de implementação utilizada no sistema B-Live Wireless [15] que é o foco desta dissertação, torna-se imperativo uma abordagem mais exaustiva do mesmo.

### 2.5.1 IEEE 802.15.4

Este protocolo é definido na camada “Física” e de “Ligação de Dados” (ver Figura 2.1) podendo operar nas frequências 868 Mhz, 928 Mhz ou 2.4 Ghz, possuindo uma taxa de transmissão de 20kbps (com 1 canal de comunicação), 40kbps (com 10 canais de comunicação) e 250kBps (com 16 canais de comunicação) respectivamente.

As topologias de rede disponíveis são Peer-to-Peer (Figura 2.2) ou em estrela (Figura 2.9), necessitando de um coordenador da PAN (*Personal Area Network*) que efectue a gestão da rede e permita a criação de *bridges* para aumento do alcance da mesma.

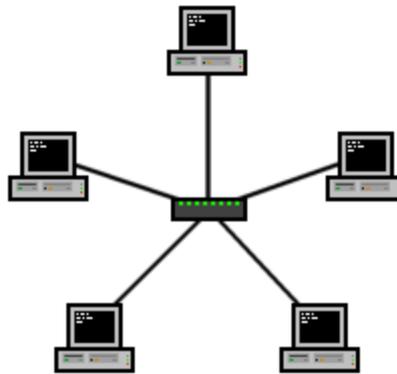


Figura 2.9: Topologia de rede estrela (obtida de [16])

A camada física deste protocolo possui dois serviços, o *data service* que admite a transmissão e recepção de mensagens na camada física, conhecidos por PPDU's (PHY *Protocol Data Units*), e o *management service* que estabelece uma interface com o *hardware*, sendo possível controlar o *transceiver* (dispositivo transmissor e receptor), detectar a potência da mensagem recebida (ED), verificar a qualidade do sinal recebido (LQI), seleccionar o canal de transmissão (16 canais diferentes disponíveis na banda dos 2.4Ghz) e verificar se o canal está a ser utilizado (CCA).

O formato de um PPDU pode ser visto na Figura 2.10, possui cinco *bytes* de sincronização, 1 byte indicando o tamanho da trama e um campo de *payload* variável onde serão implementadas as camadas superiores.

Octets: 4	1	1		variable
Preamble	SFD	Frame length (7 bits)	Reserved (1 bit)	PSDU
SHR		PHR		PHY payload

Figura 2.10: Formato de um PPDU (obtida de [17])

**Legenda:**

**Preamble** – Bytes de Sincronização.

**SFD** – *Start of Frame Delimiter*, indica o início da trama

**Frame Length** – Indica o tamanho da trama.

**Reserved** – Byte reservado.

**Payload** – Contém informação do dispositivo e sobre as sucessivas camadas do sistema.

A camada “Ligação de Dados” possui também dois serviços, o *data service* e *management service* com características semelhantes às apresentadas na camada física. No entanto, as funções de *data service* passam por permitir a transmissão e recepção de tramas nesta camada, utilizando os *MAC Protocol Data Unit* (MPDU) enquanto que o *management service* permite controlar o *beacon*<sup>2</sup>, o acesso ao canal, iniciar e gerir a PAN, efectuar a sincronização dos dispositivos e *acknowledge* de mensagens.

É possível observar um exemplo de uma trama *MAC Protocol Data Unit* na Figura 2.11, esta contém um campo com dois *bytes* de controlo, um *byte* de verificação de *sequence number*, campos com dimensão variável de endereçamento, um campo com tamanho variável com informação das camadas superiores e dois *bytes* de *Checksum*.

---

<sup>2</sup> Beacon – Modo de operação da camada MAC do padrão 802.15.4, na qual o coordenador da PAN envia periodicamente uma trama de sincronização dos dispositivos de rede, identificando a PAN a que pertencem e os tempos de comunicação de cada um.

Octets: 2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	variable	2
Frame control	Sequence number	Destination PAN identifier	Destination address	Source PAN identifier	Source address	Frame payload	FCS
		Addressing fields					
MHR						MAC payload	MFR

Figura 2.11: Formato de uma trama MPDU (obtida de [17])

### Legenda:

**MHR** – Informação de controlo, endereçamento e verificação de *sequence number*.

**MAC payload** – Contém informação do dispositivo e as sucessivas camadas do sistema.

**MFR** – Contém o Frame CheckSum.

Podemos então resumir, que o protocolo IEEE 802.15.4 é bastante flexível, permitindo que os campos de informação das tramas enviadas possam ser utilizados para definir novos protocolos de comunicação, tais como o ZigBee e B-Live Wireless.

### Segurança

O protocolo IEEE 802.15.4 é responsável por garantir a segurança de comunicações na camada de “Ligação de Dados”, este é caracterizado por possuir mecanismos de verificação de integridade da mensagem, através da inserção na trama de um código de autenticação (Message Integrity Code). O MIC é caracterizado por efectuar um *checksum* de segurança utilizando uma chave de rede, pelo que se a mensagem não contiver a chave correcta esta será descartada.

São também implementados mecanismos de verificação do *sequence number*, sendo as mensagens aceites, apenas se este for superior à mensagem anteriormente recebida. Por fim, esta tecnologia utiliza encriptação AES (*Advanced Encryption Standard*), um padrão de criptografia usado mundialmente. A configuração do uso de encriptação de autenticação é definida na camada MAC das tramas IEEE 802.15.4.

### 2.5.2 ZigBee Home Automation (HA)

ZigBee Home Automation [18] foi desenvolvido pela ZigBee Alliance [13], sendo hoje em dia um protocolo de referência na implementação de sistemas de automação habitacional. Implementado sobre o protocolo IEEE 802.15.4, é uma solução *low-cost* com baixo consumo energético e livre para fins não comerciais, possuindo taxas de transmissão de 250kbps, bastante superior aos outros sistemas apresentados.

Utiliza a frequência de operação dos 2.4 Ghz não necessitando de licenciamento. Contudo, por esse motivo, está exposta à interferência de outros sistemas, tais como Bluetooth [19] ou Wi-fi [20]. Na tabela seguinte é possível observar as principais características deste protocolo.

<b>ZigBee</b>	
Frequência de Operação	2.4 Ghz
Taxa de transmissão	250kBps
Nº de dispositivos suportado	65536
Licença de utilização do espectro	Não
Alcance	30m <i>indoor</i>

Tabela 2.3: Características dos sistemas ZigBee

### Topologia e Configuração

A camada de rede do protocolo ZigBee suporta topologia em estrela (Figura 2.9), ou mesh (Figura 2.12). Estas são caracterizadas por dispositivos bidireccionais, sendo que nas redes em estrela, os vários nós estabelecem comunicação através de um dispositivo central, que interliga individualmente os elementos, enquanto nas redes mesh cada nó é capaz de retransmitir as mensagens, permitindo a total ligação ponto a ponto.

A configuração dos dispositivos é feita sem-fios, sendo para isso necessário que o dispositivo a inserir na rede possua suporte para redes ZigBee. Para iniciar a configuração

de um novo elemento, é necessário que o controlador da rede autorize a sua inserção, enviando uma mensagem de permissão. Após a sua recepção, o dispositivo deverá iniciar a detecção da rede, efectuando de seguida um pedido de endereço ao controlador. A configuração acaba após a configuração do novo endereço.

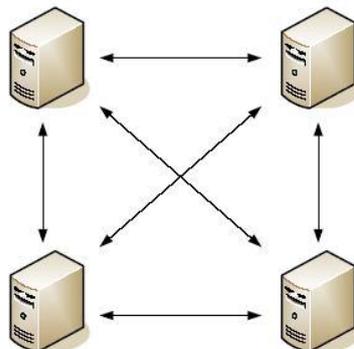


Figura 2.12: Topologia de rede mesh (obtida de [13])

## Funcionamento

Os sistemas ZigBee são constituídos por três dispositivos diferentes: controladores, com a função de iniciar e controlar a rede; *routers*, que possibilitam o aumento da área de cobertura, através do reencaminhamento de mensagens e dispositivos terminais que enviam e recebem informação sobre o ambiente da habitação.

Em relação à sua estrutura protocolar, os sistemas ZigBee possuem uma ligeira diferença em relação aos apresentados anteriormente, visto terem uma sub-camada de aplicação (*Application Support Sub-layer*) que lança as bases de funcionamento e comunicação entre os vários elementos na camada de aplicação (Figura 2.13).

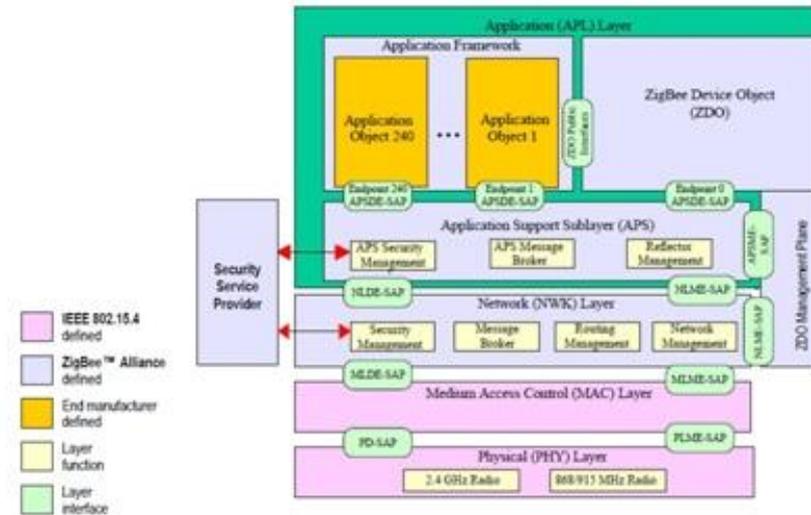


Figura 2.13: Arquitetura de um sistema ZigBee (obtida de [21])

Esta sub-camada possui dois serviços, o *data service*, encarregue de efectuar as transmissões através de um *service access point*<sup>3</sup> e o *management service*, responsável por efectuar a gestão da rede e manter uma base de dados sobre os dispositivos do sistema, conhecido por *APS information base*. As tramas utilizadas para comunicação são designadas por *Application support sub-layer Protocol Data Unit (APDU)*, representadas na Figura 2.14.

Esta possui um campo de controlo (um byte); campos de endereçamento de tamanho variável; um campo de verificação de validade da trama; um campo contendo informação sobre a possível fragmentação da trama e por fim, um campo variável com informação sobre o dispositivo.

<sup>3</sup> *Service Access Point* – Termo do modelo OSI que identifica numa rede uma aplicação que está a enviar e receber dados.

Octets: 1	0/1	0/2	0/2	0/2	0/1	1	0/ Variable	Variable
Frame control	Destination endpoint	Group address	Cluster identifier	Profile identifier	Source endpoint	APS counter	Extended header	Frame payload
	Addressing fields							
APS header								APS payload

Figura 2.14: Formato de uma APDU (obtida de [17])

### Legenda:

**Frame control** – Contém informação sobre o tipo de trama, endereçamento e controlo.

**Addressing fields** – Contém o endereço de destino da informação.

**APS Counter** – Contador que permite prevenir a recepção da mesma trama mais do que uma vez.

**Extended header** – Informa se a trama vem fragmentada em várias tramas ou é única.

**Frame Payload** – Contém informação do dispositivo.

## Segurança

O protocolo ZigBee para além de possuir os mecanismos de segurança inerentes ao protocolo padrão IEEE 802.15.4 referidos anteriormente, complementa-os através de mecanismos de administração de rede. Assim, existem nós responsáveis por garantir a segurança das comunicações (designados por *Trust Centers*), que permitem o reconhecimento de dispositivos que se pretendem juntar á rede, dando-lhes uma chave de segurança e funções de comunicação seguras entre eles. Estes possuem ainda a função de modificar periodicamente a chave de segurança, informando todos os dispositivos da rede.

## 2.6 Z-Wave

O Z-Wave [22] é um protocolo de comunicação *wireless* fechado, necessitando de licença de utilização. Este foi desenvolvido por um grupo de empresas com o objectivo de transmitir pequenos pacotes de informação de forma fiável e com baixa latência. Com uma taxa de transmissão de 40 kbps, os sistemas de automação Z-Wave caracterizam-se pela simplicidade de comunicação e operam na frequência dos 868Mhz. É um protocolo

utilizado para automação habitacional em espaços pequenos, devido ao seu alcance limitado (30 metros *indoor*). A tabela seguinte resume as características principais do protocolo Z-Wave.

<b>Z-Wave</b>	
Frequência de Operação	868 Mhz
Taxa de transmissão	40kBps
Nº de dispositivos suportado	256
Licença de utilização do espectro	Não
Alcance	30m

Tabela 2.4: Características dos sistemas Z-Wave

### 2.6.1. Topologia e Configuração

Nos sistemas Z-Wave existem dois tipos de dispositivos, os controladores e os *slaves*. Os controladores para além de serem responsáveis por iniciar e controlar a rede, podem também enviar comandos para os *slaves*. Estes, por seu lado, têm a função de executar os comandos enviados e caso seja necessário, retransmiti-los para outros nós. Neste sentido, podemos dizer que os sistemas Z-Wave possuem uma topologia de rede *mesh*.

A configuração de rede pode ser efectuada através de um “controlador instalador” portátil que, para além das funções de operação normais, permite efectuar uma gestão mais avançada da rede, possibilitando a instalação de uma rede Z-Wave na casa do cliente. Existe apenas um por rede e são por vezes conhecidos como “controladores *master*”, por serem os únicos que autorizam a inclusão/exclusão de um novo nó na rede. Por fim, estão disponíveis dispositivos designados por “*Static Update Contollers*” (um por rede) que permitem efectuar actualizações no sistema a pedido do controlador *master*, reencaminhando a informação para todos os nós da rede.

## 2.6.2. Funcionamento

Como foi referido, um sistema Z-Wave é constituído por dois tipos de dispositivos, os controladores e os *slaves*. Dentro de uma rede Z-Wave existe sempre um controlador *master*, que gere e inicia a rede, sendo o único capaz de incluir ou excluir um nó, necessitando para isso do conhecimento total da rede. Todos os outros controladores são designados por “controladores secundários” tendo a função de manter a rede e enviar comandos para os dispositivos *slave*. Por fim, os *slaves* permitem actuar conforme os comandos indicados pelos controladores, ou simplesmente recolher informação sobre o ambiente da habitação, podendo também reencaminhar informação para outros nós.

O exemplo de uma trama Z-WAVE da camada de “Ligação de Dados” pode ser observado na Figura 2.15, sendo comum a todos os meios físicos permitidos. Esta possui apenas três *bytes* de controlo, sendo eles, *Preamble* (sincronização e controlo), *Start of Frame* (*byte* de início da trama) e *End of Frame* (*byte* de fim da trama), sendo o campo “DATA” reservado para informação das camadas superiores.

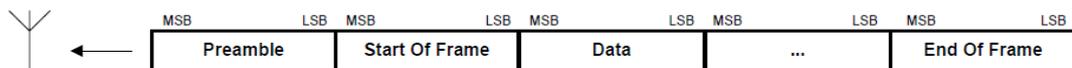


Figura 2.15: Trama de um sistema Z-Wave (obtida de [23])

### Legenda:

*Preamble* – Contém informação sobre o tipo de trama, endereçamento e controlo.

*Start Of Frame* – Caracter de indicação de início de trama.

*Data* – Contém informação do dispositivo e camadas superiores do sistema.

*End Of Frame* – Caracter de indicação de fim de trama

### 2.6.3. Segurança

A informação sobre segurança nos sistemas Z-Wave, por se tratar de um protocolo fechado, é bastante escassa, não estando presente qualquer mecanismo de encriptação de mensagens ou chave de segurança. No entanto, cada rede Z-Wave possui um endereço de identificação único (*Home ID*), que permite a filtragem de mensagens externas.

## 2.7 B-Live Wireless

B-Live Wireless é um protocolo de comunicação desenvolvido sobre o IEEE 802.15.4, tendo sido criado na empresa Micro I/O localizada na cidade de Aveiro, sendo destinado à automação de pequenas habitações. Este protocolo pretende implementar uma versão sem-fios do sistema B-Live, uma solução de domótica habitacional cablada, para auxílio de pessoas com mobilidade ou capacidade reduzida. Com este sistema é possível simplificar a instalação nas habitações, reduzir custos e aumentar a flexibilidade de utilização.

A frequência de operação é 2.4 Ghz, possuindo uma taxa de transferência de 250 kBps, não sendo necessário o aluguer de licença de utilização do espectro. O alcance deste sistema é cerca de 100m (*outdoor*). Por fim, este produto possui uma autonomia de aproximadamente 5 anos. Na tabela seguinte é possível observar as principais características do protocolo B-Live Wireless.

B-Live Wireless	
Frequência de Operação	2.4 Ghz
Taxa de transmissão	250kBps
Nº de dispositivos suportado	4.300.000.000
Licença de utilização do espectro	Não
Alcance	100m ( <i>outdoor</i> ) /30m ( <i>indoor</i> )

Tabela 2.5: Características de um sistema B-Live Wireless

### **2.7.1. Topologia e Configuração**

O sistema B-Live Wireless é caracterizado por possuir imensa flexibilidade de implementação e configuração, visto que opera numa topologia *full-mesh* na camada “Ligação de dados”, ou seja, todos os aparelhos comunicam em *broadcast*, estando o destinatário codificado no *payload* da mensagem enviada. Por sua vez, no *payload* referido, existe uma *Upper Layer* (protocolo B-Live Wireless) que utiliza como topologia de comunicação Peer-to-Peer ou One-to-many, significando que um dispositivo pode ter como destino um ou mais nós da rede. Para além disso, a placa de desenvolvimento é comum a todos os dispositivos, possibilitando a sua reutilização nos mais diversos aparelhos.

A configuração inicial de todos os dispositivos é efectuada através de um *software* próprio (ICD3) [24], sendo que em todos é possível modificar em *run-time* a função a desempenhar. Para além disso, é também permitido modificar os parâmetros de comunicação como potência de transmissão e canal utilizado.

### **2.7.2. Funcionamento**

O funcionamento do sistema B-Live Wireless será abordado mais exhaustivamente no capítulo 3, sendo nesta secção apresentada uma breve explicação. Existem quatro tipos de dispositivos diferentes presentes nas redes B-Live Wireless, sendo eles sensores, actuadores, controladores e um *gateway* que comunica com o servidor. Um exemplo pode ser visto na Figura 2.16, em que os vários elementos estão ligados, formando uma WPAN (Wireless Personal Area Network).

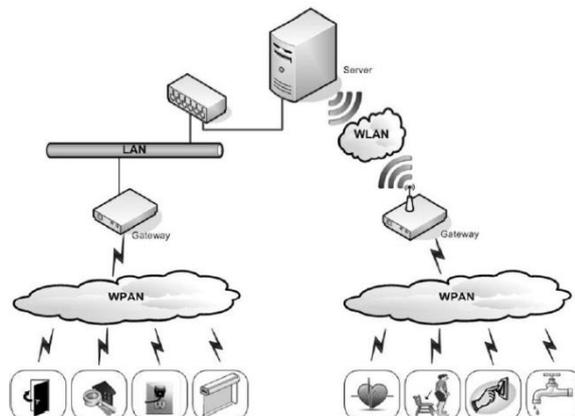


Figura 2.16: *Arquitectura de um sistema B-Live Wireless (obtida de [2])*

Os dispositivos sensores têm a função de recolher informação sobre o ambiente da habitação, e assegurar que é captada pelos controladores, disponíveis em cada divisão da casa. Por outro lado, os actuadores permitem ao utilizador interagir com os equipamentos presentes na habitação, podendo receber pedidos de actuação de qualquer nó da rede. Por fim, os controladores e *gateway* têm a função de interligar o utilizador com todos os sensores e actuadores disponíveis. A comunicação entre os diferentes dispositivos é gerida pelo protocolo *Wireless Flexible Time Triggered*, abordado no capítulo seguinte.

Um exemplo de uma trama genérica deste protocolo pode ser vista na Figura 2.17, sendo que todos os campos presentes possuem oito bits, excepto o campo “Data” de tamanho variável.



Figura 2.17: *Trama genérica do protocolo B-Live Wireless*

**Legenda:**

**Campo %** – Caracter de início de trama.

**Campos Src** – Definem o endereço do dispositivo emissor.

**Campos Dst** – Definem o endereço do dispositivo receptor.

**Seq. Num** – Informação sobre o *sequence number*.

**Bat. level** – Informação sobre o nível de bateria do dispositivo.

**Frm. Type** – Tipo de trama.

**Data** – Informação do dispositivo

**Campo #** – Caracter de fim de trama.

Este protocolo é caracterizado por possuir quatro tipos de mensagens diferentes (indicado no campo “*Frame Type*”): pedido de ordem, estado, *acknowledge* e configuração. Uma explicação aprofundada sobre as tramas do protocolo B-Live Wireless está presente no capítulo 4.

Por fim, o protocolo B-Live Wireless possui ainda um mecanismo de retransmissão em caso de falha na transmissão ou recepção de mensagens (detectado pela não recepção de mensagem de *acknowledge*), na qual o dispositivo retransmite, até um limite máximo de duas tentativas, a mesma mensagem (tópico abordado de forma completa no capítulo seguinte).

### **2.7.3. Segurança**

O protocolo B-Live Wireless possui todos os mecanismos de segurança inerentes ao protocolo IEEE 802.15.4 apresentados anteriormente, ou seja, possui mecanismo de autenticação de mensagens através da inserção de *Message Integrity Code* (ver sub-capítulo IEEE 802.15.4.), filtrando as mensagens através de um *checksum* da chave de segurança codificada na mensagem e mecanismos de encriptação das mensagens enviadas (AES).

Para além do padrão IEEE 802.15.4, cada dispositivo possui ainda um endereço único, ignorando todas as mensagens que não lhe sejam dirigidas. e um *byte* de controlo (*sequence number*), que permite ao servidor perceber se existem mensagens externas ao sistema. Por fim, o facto da comunicação dos vários dispositivos ser controlada pelo protocolo WFTT, torna-se uma barreira adicional a possíveis comunicações exteriores.

## 2.8 Discussão

Após a apresentação dos diferentes protocolos existentes no mercado direccionados para a área de domótica habitacional, é possível realizar uma reflexão comparativa analisando as vantagens e desvantagens de cada sistema, mediante as características abordadas neste capítulo.

Na *Tabela 2.6* estão expostas as principais características dos vários protocolos anteriormente referidos. É notória a grande gama de taxas de transferências, sendo que ZigBee e B-Live Wireless (por utilizarem a mesma camada física e MAC), são claramente superiores aos demais. É no entanto, necessário ressaltar que o sistema EnOcean possuindo metade da taxa de transferência, consegue-o através da recolha de energia do ambiente (*energy harvesting*). O alcance é semelhante nos diversos sistemas.

Quanto à frequência de operação é necessário ter em conta dois aspectos fundamentais: licenciamento de utilização e o ruído ambiente na banda usada. Tanto o protocolo ZigBee, como o B-Live Wireless utilizam a banda dos 2.4 Ghz, que por ser uma banda livre não carece de licenciamento específico, tornando-se bastante apelativa. No entanto, o facto de outros sistemas recorrerem a esta banda resulta num aumento significativo do ruído. Por outro lado, a banda dos 868 Mhz possui o inconveniente de estar limitada a 1% do duty-cycle na Europa, ou seja os dispositivos apenas podem transmitir 1% do tempo.

Por fim, é possível verificar que os sistemas EnOcean e B-Live Wireless possuem uma gama de endereçamento bastante superior às restantes, sendo que no entanto em todos os sistemas apresentados é possível a inclusão de dispositivos (*bridges, routers*, entre outros) que permitem a ligação entre duas redes diferentes de maneira a criar uma rede maior.

	<b>EnOcean.</b>	<b>KNX / RF</b>	<b>ZigBee</b>	<b>Z-Wave</b>	<b>B-Live Wireless</b>
Taxa de transferência	125kBps	16 kBps	250 kBps	40 kBps	250kBps
Alcance	300m( <i>outdoor</i> ) 30m ( <i>indoor</i> )	800m ( <i>outdoor</i> )	30m ( <i>indoor</i> )	30m ( <i>indoor</i> )	100m( <i>outdoor</i> ) 30m ( <i>indoor</i> )
Frequência de Operação	868Mhz	868Mhz	2.4 Ghz	868 Mhz	2.4 Ghz
Nº de dispositivos	4.300.000.000	65536	65536	256	4.300.000.000
Licença	Não	Não	Não	Não	Não

Tabela 2.6: Tabela comparativa dos sistemas de domótica

É possível concluir que em termos de configuração, devido à sua maior maturidade, o sistema KNX / RF possui maior flexibilidade de configuração, suportando três modos. Por outro lado, os restantes sistemas necessitam de algum conhecimento da rede, sendo geralmente efectuada por técnicos especializados.

Em relação à topologia utilizada, os vários sistemas utilizam sobretudo ligações Ponto-a-Ponto, com capacidade de retransmissão para outros nós, constituindo assim redes em malha. No entanto, podem ser encontradas redes em estrela, através de dispositivos que interligam os diferentes nós.

Após o estudo efectuado nos sub-capítulos anteriores constatou-se que o formato da trama está directamente relacionado com o tipo de sistema implementado, ou seja, sistemas no qual o principal objectivo é efectuar uma optimização energética (caso do EnOcean) caracterizam-se por tramas curtas, apenas com a informação fundamental, não utilizando mensagens de *acknowledge*, e confiando a robustez do sistema a várias repetições da mesma mensagem. Por outro lado, sistemas como o Z-Wave utilizam tramas bastante maiores, conferindo maior grau de complexidade ao protocolo e requerendo *acknowledges* por mensagem. Por fim, sistemas como B-Live Wireless e ZigBee HA implementam sistemas de maior complexidade em termos de robustez e segurança, utilizando elevadas

taxas de transmissão. É necessário ressaltar que ambos foram pensados especificamente para sistemas domóticos, pelo que garantias de robustez e segurança são uma peça fundamental na sua implementação.

Por fim, a segurança presente nestes sistemas é ainda objecto de muito estudo por parte das empresas que desenvolvem estes sistemas, sendo que cada sistema possui diferentes mecanismos de defesa, tanto na configuração do sistema, ruído da banda de operação e defesa de informação recolhida/enviada. No entanto, apenas nos casos dos sistemas B-Live Wireless e ZigBee foi possível verificar a utilização de um sistema de encriptação de referência mundial (AES) e mecanismos de autenticação de mensagens. Foram também apresentadas estratégias adicionais de segurança no protocolo ZigBee através de dispositivos controladores com função de *trust centers* e um protocolo de gestão da comunicação dos dispositivos (WFTT) no caso do B-Live Wireless, podendo criar uma barreira adicional a comunicações externas.

Concluindo é possível verificar que existe uma clara aposta em desenvolver sistemas robustos, tecnologicamente avançados e de baixo consumo energético. Assim, os sistemas B-Live Wireless e ZigBee, por serem mais recentes, possuem um avanço tecnológico superior aos demais em termos de velocidade transmissão, complexidade e segurança. A aposta em *energy harvesting* efectuada pela EnOcean, coloca-a como a tecnologia mais eficiente em termos energéticos. Por fim, tanto o sistema KNX /RF como Z-WAVE, devido à sua vasta experiência de mercado, possuem sistemas bastante robustos e de referência a nível mundial.



# CAPÍTULO 3

---

## 3. Integração de sensores e actuadores no protocolo B-Live Wireless

O sistema B-Live Wireless é um projecto vasto e complexo que conta com o contributo de várias pessoas na área da electrónica, telecomunicações e informática. Para uma melhor compreensão do mesmo é, neste capítulo, realizada uma apresentação gradual de todo o sistema, dando ênfase às várias camadas que o constituem.

Inicialmente é descrito o funcionamento global e os elementos que constituem o sistema. De seguida é abordado o protocolo *Wireless Flexible Time Triggered* (WFTT), essencial para coordenar o acesso ao meio, definindo janelas de comunicação. O modo de interacção entre os vários elementos completa a explicação do funcionamento do sistema.

Por fim, o *hardware* e *software* que suporta a implementação do sistema B-Live Wireless, são abordados de forma mais exhaustiva.

## 3.1. Funcionamento

### 3.1.1 Arquitectura global do sistema

B-Live Wireless é um sistema de domótica habitacional sem-fios que tem como objectivo criar melhores condições de habitabilidade para pessoas com mobilidade reduzida, facultando ferramentas de apoio às acções domésticas, bem como o registo e monitorização dos eventos ocorridos, de modo a ser possível prever e actuar em caso de emergência ou recolher informações em caso de diagnóstico médico. No restante documento usar-se-á o termo “evento” para caracterizar um acontecimento passível de ser detectado/quantificado por um sensor.

Utilizando a tecnologia IEEE 802.15.4, que permite operar na banda dos 2.4 Ghz, é possível implementar uma rede de sensores e actuadores interligados entre si, por um protocolo desenhado para o efeito, o protocolo B-Live Wireless. Cada sensor deverá detectar um evento específico na habitação, quantificá-lo caso seja necessário, e enviá-lo de seguida, segundo os parâmetros especificados no referido protocolo, para os elementos superiores da rede ou directamente para os actuadores. Os actuadores possuem uma função quase oposta, ou seja, deverão receber informação dos elementos superiores da rede ou de sensores e actuar conforme pedido.

Existem também dispositivos com a função de gerir toda a rede, recolhendo a informação relevante e reencaminhando-a para o *Gateway* intitulados Controladores. Dado que foi estipulado que a ocorrência de eventos numa divisão é monitorizada por estes dispositivos, é necessário instalar um controlador em cada divisão da habitação na qual existam sensores ou actuadores em funcionamento. É importante referir que os controladores são tipicamente integrados em dispositivos actuadores de forma a reduzir o respectivo custo e a usufruir de alimentação permanente.

Por fim, o *gateway* deverá enviar a informação recolhida pelos controladores de cada divisão, para um servidor onde ficarão registados todos os eventos ocorridos ou

ordens de actuação efectuadas. Na Figura 3.1 é possível observar a arquitectura de rede de um sistema B-Live Wireless.

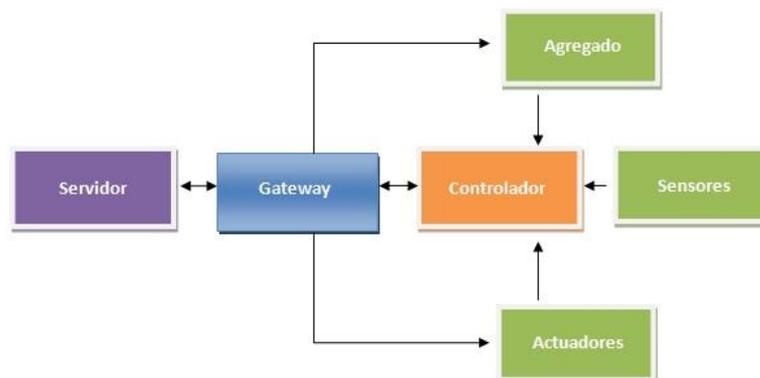


Figura 3.1: Ligações entre os elementos do sistema B-Live Wireless

O servidor comunica exclusivamente com o *Gateway*. Este por seu lado, permite o envio de mensagens de actuação para os dispositivos actuadores e agregados, recebendo *feedback* destes e dos sensores através do controlador, com o qual todos deverão comunicar.

A comunicação entre o *gateway* é estabelecida recorrendo a *Ethernet* [25] (solução cablada) ou *Wi-fi*[20], caso seja pretendido um sistema totalmente sem-fios. Para o correcto funcionamento do sistema, todos os dispositivos apresentados estão sujeitos a compromissos temporais bem definidos, estando o envio de informação para o meio sujeito ao protocolo *Wireless Flexible Time-Triggered* (WFTT) [26] que se explica em seguida.

### 3.1.2 Protocolo WFTT

O protocolo WFTT assume um papel central na garantia do acesso exclusivo ao meio por parte dos dispositivos que integram o sistema B-Live Wireless. O facto da banda ISM dos 2.4Ghz não necessitar de licença de utilização, torna-a bastante populada, podendo competir entre si várias tecnologias que utilizam a mesma banda numa área física comum. O sistema B-Live emprega os princípios de funcionamento do protocolo WFTT, aplicando-os num caso prático de domótica habitacional. Neste sentido o protocolo

coordena o acesso dos dispositivos B-Live ao meio, garantindo níveis de prioridade diferenciada dependendo do tipo de dispositivo. Para este efeito define janelas temporais de comunicação com regras específicas de acesso ao meio. Assim, é fundamental realizar uma abordagem mais aprofundada ao protocolo WFTT, sendo esta feita em seguida na óptica da integração dos dispositivos B-Live Wireless.

A garantia de acesso exclusivo ao meio é suportada numa técnica conhecida por *bandjacking* [27] que consiste na transmissão de um sinal denominado *black-burst*, que, pela sua duração, frequência e potência, inibe as transmissões de dispositivos vizinhos que operem sobre a mesma banda de frequências do sinal de *black-burst*. A Figura 3.2 documenta um ciclo elementar do protocolo WFTT, mostrando a transmissão de *black-bursts*.

Em seguida, tirando partido de que o canal se encontra livre de comunicações externas à rede WFTT, o dispositivo coordenador (neste caso o *gateway*) transmite uma mensagem designada *trigger packet* que define as janelas temporais e prioridades de comunicação dos vários elementos da rede. O *trigger packet* assinala o início da janela protegida (*Protected Window*) onde os dispositivos prioritários efectuem as suas transmissões usando um esquema de acesso ao meio conhecido por *Time Division Multiple Access* (TDMA). Os dispositivos de menor prioridade comunicam na janela temporal seguinte designada janela de contenção (*Contention Window*) usando um esquema de *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA) para acesso ao meio.

Por fim, surge a janela de comunicação designada por inactiva (*Inactive Window*) onde se possibilita a comunicação aos elementos externos à rede. Esta janela temporal estende-se desde o fim da *Contention Window* até ao início do *black-burst* seguinte.

No âmbito do protocolo B-Live Wireless foi definido que, na *Protected Window*, se efectuem as comunicações dos dispositivos controladores, que informam sobre os eventos registados na divisão em que se encontram e as comunicações dos dispositivos de alarme, que assinalam situações de emergência. Na *Contention Window* realizam-se as comunicações de todos os restantes dispositivos de baixa prioridade que disputam o canal usando o esquema CSMA/CA. Visto que os sensores e actuadores desenvolvidos no âmbito desta dissertação não requerem acesso de alta prioridade, todos deverão responder

na janela de contenção. A Figura 3.2 apresenta um esquema de um ciclo elementar seguindo o protocolo WFTT.

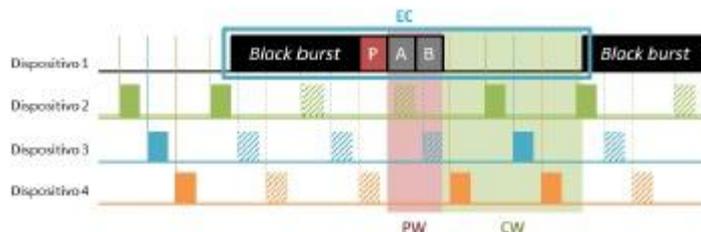


Figura 3.2: Esquema de funcionamento do protocolo WFTT (obtida de [2])

Inicialmente é possível observar a presença de três dispositivos a comunicar no canal, através de *Time Division Multiple Access*. Após a emissão de um *black-burst* pelo “dispositivo 1”, a comunicação dos restantes é inibida, sendo enviado de seguida o *trigger packet*, iniciando a janela protegida referida anteriormente. De seguida, inicia-se a janela de contenção onde os vários dispositivos presentes na rede competem pelo canal através de CSMA/CD. Por fim, apesar de não estar representado na figura, inicia-se a janela inactiva que marca o fim da janela de contenção e o início do *black-burst* seguinte.

### 3.1.3 Interacção entre dispositivos

Após a análise da arquitectura geral e do modelo de comunicação do sistema, é necessário descrever a interacção entre os elementos do sistema, nomeadamente a interacção entre sensores, actuadores, controlador e *gateway*.

O protocolo B-Live Wireless define quatro tipos de comunicações diferentes: monitorização do estado de um sensor, monitorização do estado de um sensor e controlo de actuator associado, controlo remoto de actuator e comunicação do controlador para o *gateway*. Em seguida descrevem-se cada um destes tipos de comunicação.

#### Monitorização do estado de um sensor

Os sensores B-Live Wireless deverão comunicar a detecção de um evento específico na área habitacional. No caso de se tratar de um evento meramente informativo, ou seja, que não esteja directamente relacionado com a actuação de outro dispositivo

(informação destinada unicamente ao servidor), a mesma deverá ser enviada para o endereço de *broadcast* B-Live. Será então recebida pelo controlador da divisão correspondente (representado na Figura 3.3 por uma lâmpada) que, para além de a reencaminhar para o *gateway*, deverá também transmitir para o sensor uma mensagem de *acknowledge*, garantindo assim uma maior robustez ao sistema. O controlador é geralmente implementado em conjunto com o actuador de lâmpada, por este se localizar numa posição central da divisão. A figura seguinte, esquematiza uma comunicação de um sensor de monitorização do ambiente da habitação.

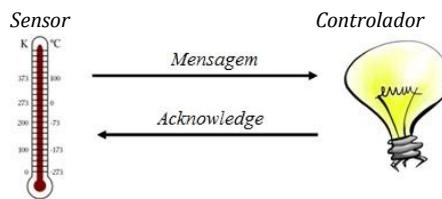


Figura 3.3: Exemplo de comunicação de um sensor

Em caso de falha de transmissão ou má recepção por parte do controlador, é necessário que o sensor efectue uma retransmissão, sendo esta cumprida após um *timeout*, até um limite máximo de duas tentativas. As figuras seguintes esquematizam o processo de retransmissão, sendo a primeira uma bem sucedida.

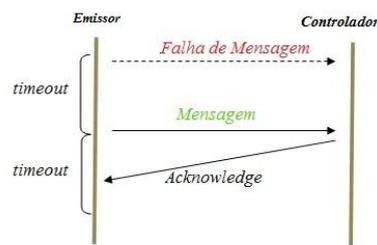


Figura 3.4: Exemplo de uma retransmissão bem sucedida

Para o caso em que o controlador por algum motivo se encontre indisponível e não responda a nenhuma das mensagens enviadas pelo sensor, este desistirá após duas tentativas de retransmissão, na Figura 3.5 é possível observar um esquema representativo deste caso.

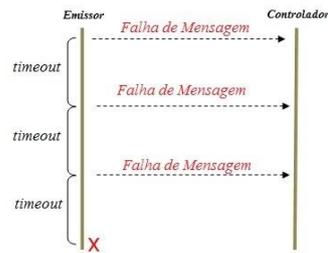


Figura 3.5: Exemplo de retransmissões falhadas

### Monitorização do estado de um sensor e controlo de actuador associado

Para além de possuírem a função de registar eventos ocorridos na habitação, os sensores podem também comunicar directamente com um ou vários dispositivos actuadores. Para isso, uma mensagem deverá ser enviada directamente para os actuadores associados através de *unicast* para o endereço B-Live correspondente aguardando o *acknowledge* não só do dispositivo controlador, mas também dos actuadores destinado.

Os actuadores, após a alteração pedida, deverão transmitir uma mensagem com o seu estado actual (para o endereço de *broadcast* B-Live). Por fim, este deverá responder ao sensor e actuador com um *acknowledge*, reencaminhando de seguida a informação recebida para o *gateway* (Figura 3.6).

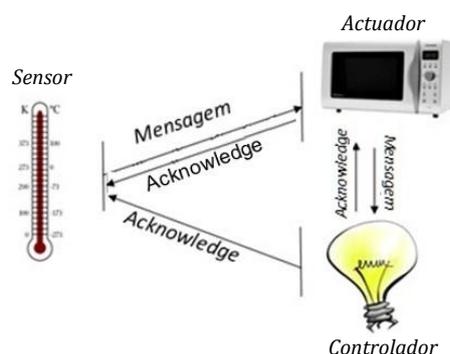


Figura 3.6: Exemplo de um pedido de actuação por um sensor

O processo de retransmissão do sensor e actuador é análogo ao referido no tópico anterior.

### Controlo remoto de actuador

As ordens de actuação remotas são sempre enviadas através do *gateway* directamente para os actuadores (através de transmissões para o endereço *unicast* B-Live correspondente). Assim, tal como na actuação por dispositivos sensores, deverá ser enviada por parte do actuador em questão, uma mensagem de *acknowledge* com a alteração de estado efectuada. Esta mensagem é transmitida para o endereço *broadcast* B-Live. O controlador após receber esta informação, deverá transmitir uma mensagem de *acknowledge* para o actuador e reencaminhar a informação correspondente para o *gateway* que a envia para o servidor. Na Figura 3.7 está um esquema representativo do controlo remoto de um actuador.

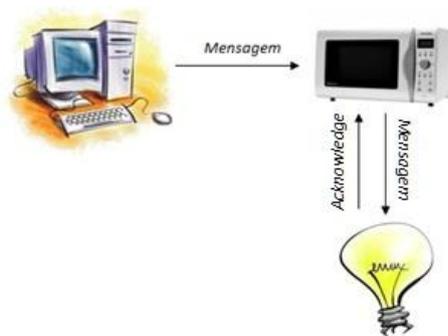


Figura 3.7: Exemplo de pedido de actuação do utilizador

Mais uma vez em caso de falha de transmissão, o processo de retransmissão será análogo ao explicado anteriormente.

### Controlador para Gateway

As comunicações deste tipo destinam-se a informar o *gateway* de todos os eventos ocorridos num ciclo elementar. Neste sentido, após a recepção de um evento ocorrido na *Contention window*, o controlador na *Protected window* seguinte, envia um pacote com a informação recolhida para o *gateway*. O controlador tem a capacidade de enviar no máximo três eventos por ciclo elementar, sendo os restantes transmitidos nas mensagens seguintes. A filtragem de possíveis retransmissões é efectuada no *gateway* através do uso do *sequence number*.

## 3.2. Hardware

Após a descrição do funcionamento geral do sistema de comunicação B-Live Wireless torna-se necessário efectuar uma breve referência ao *hardware* utilizado. Pode-se segmentar o *hardware* desenvolvido em três categorias:

- Placa  $\mu$ MRFs
- Sensores
- Actuadores

A placa  $\mu$ MRFs é um elemento nuclear do sistema B-Live, efectuando a integração dos dispositivos exteriores. Assim, a placa  $\mu$ MRFs é apresentada de seguida, sendo posteriormente descritos os sensores e actuadores.

### 3.2.1. Placa $\mu$ MRFs

A placa  $\mu$ MRFs (Figura 3.8) desempenha um papel central em todo o sistema, visto que permite efectuar a ligação entre os vários sensores/actuadores ao protocolo de comunicação apresentado.

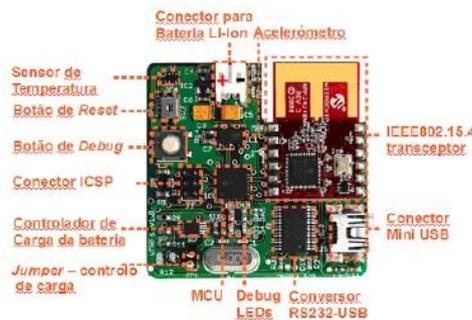


Figura 3.8: Imagem da placa  $\mu$ MRFs (obtida [3]).

No âmbito da presente dissertação dar-se-á ênfase aos componentes directamente relacionados com a comunicação, sensores/actuadores e protocolo B-Live Wireless, sendo eles: o transceptor MRF24J40 de baixa potência; o microcontrolador PIC18F26K20 da Microchip com capacidade de processamento de 16 MIPS e velocidade de 64 MHz e o pinos de Input/Output que irão ligar directamente aos elementos de actuação e detecção.

O microcontrolador é responsável pelo processamento efectuado desde a recepção de uma mudança de estado nos pinos de I/O até que é gerada uma mensagem segundo o protocolo B-Live Wireless para o transceptor, e vice-versa. O transceptor por sua vez, é responsável por realizar o envio e recepção de pacotes para o meio, segundo o padrão IEEE 802.15.4.

Todos os pinos de entrada de tensão provenientes dos sensores deverão estar directamente ligados a uma ADC (*Analog to Digital Converter*). Os pinos de saída assumem o valor 0 V ou 3.3 V, sendo o actuador responsável por traduzir esta alteração de estado na actuação pretendida. A figura seguinte esquematiza a comunicação entre o sensor/actuador e o transceptor.

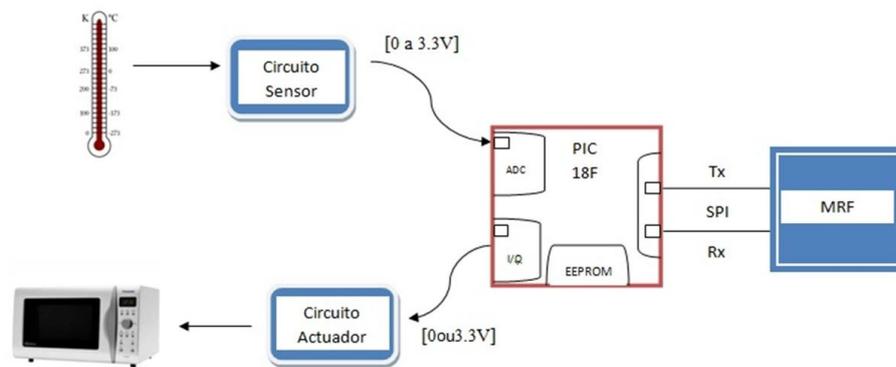


Figura 3.9: Esquema de montagem de um sensor / actuador

### 3.2.2. Sensores

Os sensores presentes no protocolo B-Live Wireless têm a função de registar e/ou monitorizar eventos da habitação, traduzindo os sinais captados (ex: diferença de capacidade, resistência, luminosidade, temperatura, entre outros) em valores de tensão dentro da gama permitida pelo microcontrolador (de 0 V a 3.3 V). Para o efeito, utilizam um transdutor (elemento que converte um tipo de energia noutra) e quando necessário, um circuito de acondicionamento de sinal.

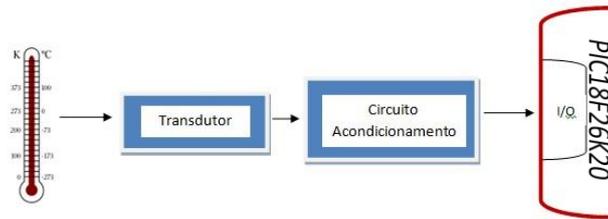


Figura 3.10: Esquema de montagem de um sensor

Actualmente estão disponíveis no sistema B-Live Wireless sensores capacitivos, piezoresistivos, piezoelétricos, magnéticos, de luminosidade, de temperatura, de fumo, movimento e distância, como se verá mais adiante.

### 3.2.3 Actuadores

Os actuadores operam de forma oposta em relação aos sensores. Neste caso, o transdutor (actuador físico), é controlado por um sinal que é previamente amplificado. O sinal do microcontrolador possui níveis de 0 V ou 3.3 V que, após amplificação, são aplicados ao actuador físico convertendo a energia eléctrica em energia mecânica, por exemplo. O esquema de montagem pode ser observado na Figura 3.11.

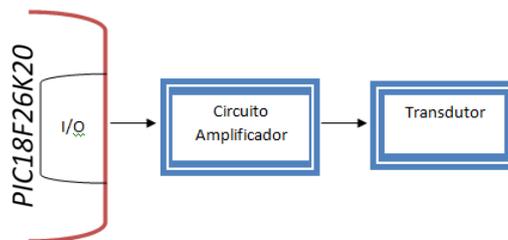


Figura 3.11: Esquema de montagem de um actuador

Actualmente estão disponíveis no sistema B-Live Wireless actuadores para tomadas, lâmpadas, portas, janelas, torneiras, estores e *buzzer*.

### 3.3. Software

Após a criação de todo o *hardware* de desenvolvimento, é necessária a implementação de uma vasta gama protocolar de ligação com o *hardware*, passando de seguida pela implementação da rede sem-fios segundo o padrão 802.15.4 e por fim, o motivo de toda esta dissertação, a camada B-Live Wireless. De seguida será abordada toda a estrutura de *software* desenvolvida.

#### 3.3.1. Arquitectura de software

A arquitectura de *software* pretende explorar a estrutura organizacional de como todo o código foi desenvolvido e interligado, facilitando assim a compreensão do sistema e possibilitando um maior nível de abstracção por parte de um futuro programador. Neste sentido, será inicialmente abordada a estrutura de funções e bibliotecas do *software*, sendo de seguida referidas as ligações e interacções entre elas.

O *software* desenvolvido no âmbito deste projecto foi implementado numa lógica de camadas, começando pela ligação (*low-level*) com o *hardware* criado, até à integração de sensores e actuadores no protocolo B-Live Wireless. Assim, podem-se definir quatro camadas de *software* distintas: Drivers, WFTT, B-Live e Aplicação.



Figura 3.12: Arquitectura de software por camadas.

A camada de *software* de *Drivers* pretende criar uma interface com o *hardware*, permitindo o acesso a registos que possibilitem a sua respectiva configuração. Incluem-se nesta camada as bibliotecas de configuração da EEPROM e *transceiver*, bem como funções de ligação por SPI e interacção com entradas e saídas do microcontrolador.

Biblioteca de I/O – Contém todas as funções essenciais à configuração das portas de comunicação externa.

Biblioteca de EEPROM – Contém as funções necessárias para gerir a memória não volátil do microprocessador.

Biblioteca de SPI – Contém as funcionalidades necessárias para efectuar comunicações por SPI.

Biblioteca do transceiver – Contém todas as funções para configuração do módulo sem-fios MRF24J40.

A camada WFTT é implementada sobre a camada de *Drivers*, sendo constituída por uma biblioteca que implementa as funcionalidades relacionadas com o protocolo WFTT tais como, por exemplo, o estabelecimento de um ciclo elementar para a realização de comunicações entre dispositivos.

A camada B-Live contém bibliotecas que incorporam as funcionalidades e definições associadas ao protocolo B-Live Wireless, sendo suportada sobre as camadas de *Drivers* e WFTT. Esta é responsável por definir os formatos das tramas B-Live Wireless e providir as funções para a sua construção. São também implementadas funções comuns a todos os dispositivos, tais como, rotinas de *sleep*, medição do nível da bateria, retransmissão de mensagens e detecção de ausência de *trigger packet*.

Biblioteca B-Live Core – Contém as funções necessárias ao funcionamento do protocolo B-Live Wireless.

Biblioteca Common to All – Contém funções de funcionamento comuns a todos os dispositivos sensores e actuadores do sistema B-Live Wireless.

Por fim, encontra-se a camada de aplicação responsável pela integração do *hardware* relacionado com sensores e actuadores, desenvolvido no sistema B-Live Wireless. Por esta ser a camada de maior relevo nesta dissertação o próximo sub-capítulo “Camada de Aplicação” fará uma abordagem mais pormenorizada da mesma.

### 3.3.2 Camada de Aplicação

A estrutura da camada de Aplicação foi pensada com o intuito de simplificar a integração de novos dispositivos, visto que o sistema B-Live possui ainda uma margem significativa de expansão, estando novos elementos constantemente a ser desenhados para futura integração. Assim, apesar de inicialmente se ter projectado e implementado individualmente cada sensor e actuador, esta abordagem foi abandonada sobretudo pela complexidade de integração das bibliotecas e das funções que se iriam produzir.

A solução passou então por agrupar os dispositivos por funcionalidades (representado pela camada Funcionalidade), permitindo uma maior reutilização do código através da partilha de bibliotecas comuns. Por fim, de forma a melhor organizar e abstrair os vários tipos de dispositivos suportados, foram criadas três bibliotecas que os agrupam em Sensores, Actuadores e Agregados.

A definição de Agregado prende-se com o facto de o mesmo dispositivo suportar mais do que uma funcionalidade, como por exemplo, uma lâmpada com sensor de corrente ou sensor de temperatura e luminosidade. A Figura 3.13 esquematiza a estrutura da camada de Aplicação.

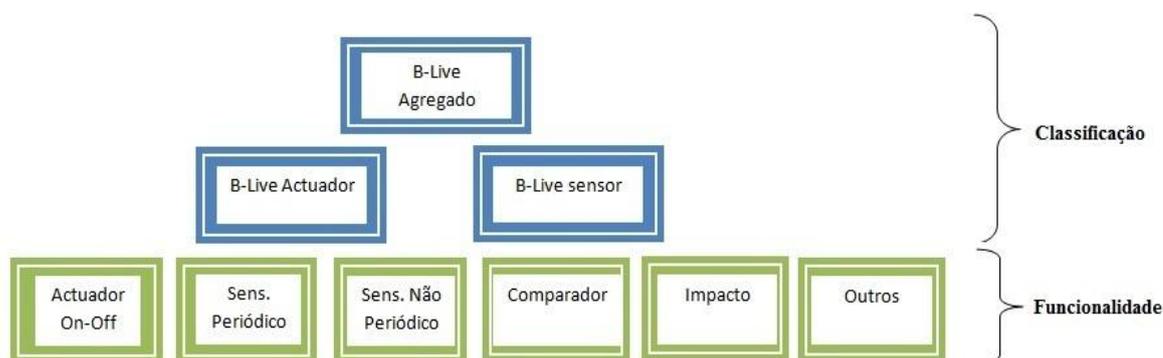


Figura 3.13: Esquema da arquitectura da camada de aplicação

## **Funcionalidade**

O objectivo da camada de Funcionalidade é agregar as bibliotecas referentes á integração dos sensores e actuadores. Como foi referido, para uma maior simplificação do código, os vários dispositivos são agrupados por funcionalidades, existindo seis grupos distintos, até ao momento da escrita desta dissertação:

- Actuadores ON /OFF
- Sensores Periódicos
- Sensores Não Periódicos
- Sensores de Impacto
- Sensores de Comparação
- Outros

O modo de actuação ou detecção de eventos será abordado em pormenor no capítulo seguinte.

## **Classificação**

Para que todos os dispositivos e respectivas funcionalidades estejam organizados de uma forma que facilite a integração de novos elementos, existe a camada de Classificação que os organiza em três classes distintas, Sensores, Actuadores e Agregados. Caso seja necessário, a inserção de um novo dispositivo (sensor ou actuator) na rede e a funcionalidade deste se enquadre num dos grupos definidos, bastará ao programador inserir nesta biblioteca o novo elemento, podendo-se abstrair de todas as camadas inferiores. No caso dos dispositivos agregados, será necessário efectuar a ligação entre as várias funcionalidades, utilizando para isso as bibliotecas de aplicação das camadas inferiores.



# CAPÍTULO 4

---

## 4. Implementação

Após a apresentação da estrutura do *software* e a sua relação com o *hardware* e o protocolo B-Live Wireless, é agora necessário aprofundar o modo de operação e a comunicação entre dispositivos, especificamente sensores e actuadores, tendo em conta os requisitos inicialmente definidos. Por fim, é realizada uma análise dos dispositivos agregados, que como será visto mais à frente, suportam vários elementos num único dispositivo.

### 4.1. Tramas do Protocolo B-Live Wireless

A comunicação entre os dispositivos referidos anteriormente é executada utilizando um protocolo específico, o B-Live Wireless. Este protocolo define, entre outros, o conteúdo de cada mensagem (trama), permitindo obter informação sobre:

- Identificação do dispositivo que envia mensagem;
- Identificação do dispositivo de destino;
- Tipo de mensagem e conteúdo;
- Informação sobre nível da bateria.

Na figura seguinte é possível observar o esquema de uma trama genérica do protocolo B-Live Wireless. Como foi visto no capítulo 2, este protocolo é implementado no *payload* das tramas IEEE 802.15.4, sendo que cada campo (representado pelos diferentes quadrados) constitui um *byte* de informação, excepto o campo “Data” que possui tamanho variável.



Figura 4.1: Trama genérica do protocolo B-Live Wireless

Todas as tramas do sistema são iniciadas pelo carácter “%”, e finalizadas por “#”, permitindo não só obter facilmente o tamanho total, como garante uma maior robustez ao sistema. Em seguida surge o endereço de origem e destino da mensagem.

Como foi abordado no capítulo “Estado da Arte”, o dimensionamento do número total de dispositivos suportados pela rede, é um dos factores de maior relevo num protocolo de domótica. Neste sentido, o protocolo B-Live Wireless suporta um endereçamento de 32 bits. O endereço é segmentado em quatro campos, cada um ocupando um *byte*. O primeiro *byte* destina-se a identificar o sector, ou seja, número da habitação ou andar. O campo seguinte, denominado *Room*, indica a divisão da habitação onde está instalado o dispositivo. O campo *Group* indica a função que o dispositivo terá no sistema e, por fim, o campo de identificação destina-se a diferenciar dispositivos do mesmo tipo. Assim, através do endereçamento do dispositivo, é possível saber qual o seu papel no sistema e a localização correspondente. No anexo A é possível observar as tabelas com a definição das diferentes subcategorias de endereçamento.

Após os campos apresentados, segue-se um *byte* (designado por *Seq. Num*) utilizado para controlo, permitindo ao sistema determinar se a trama recebida é ou não uma retransmissão. A informação sobre o nível de bateria do dispositivo está presente no campo “*Bat. Level*”, estando os valores deste *byte* presentes na Figura 4.2.

Bat level – Nível de bateria do dispositivo	
Valor (hex)	Descrição
0x00	Dispositivo com problemas na bateria
0x01 a 0xFE	Nível de carga da bateria
0xFF	Dispositivo a operar sem bateria

Figura 4.2: Valores dos níveis de bateria no protocolo B-Live Wireless (adaptado de [2])

Os campos apresentados possuem um tamanho fixo e estão presentes em todas as tramas B-Live Wireless, sendo essenciais para o bom funcionamento do protocolo. O campo *Frame Type* ocupa um *byte* e define o tipo de trama. O campo subsequente possui um tamanho variável e contém informação sobre o conteúdo da mensagem enviada, sendo que para a maioria dos casos ocupa 6 *bytes*. De seguida, será dado ênfase aos vários tipos de mensagens existentes no protocolo, podendo estas ser de quatro tipos:

- Ordem
- Estado
- Configuração
- *Acknowledge*

### Pedidos de Ordem

As mensagens de ordem são utilizadas sempre que existe um pedido de alteração de estado dos actuadores, ou seja, sempre que o servidor ou um dispositivo da rede pretende efectuar uma actuação. As mensagens deste tipo enviadas pelo *gateway* são caracterizadas por possuírem o carácter “:” no campo “*Frame Type*”, dois *bytes* de dados referentes ao valor a colocar nas saídas físicas dos dispositivos destinatários (ex: abrir ou fechar uma porta) e os restantes 4 *bytes* são ignorados. A Figura 4.3 apresenta o campo de “*Frame Type*” (“:”) e o *payload* (“*Data*”) associado a uma trama de ordem enviada pelo *gateway*.



Figura 4.3: Trama de ordem enviada pelo gateway no protocolo B-Live Wireless

No caso de outro dispositivo do sistema pretender enviar um pedido de ordem para um actuador, este será obrigatoriamente para o endereço (*unicast*) B-Live do destino. Esta trama tem no campo “*Frame Type*” o valor “s”, e o valor de actuação nas saídas nos últimos quatro *bytes* de dados (“*In 1*” e “*In 2*” de 16 bits cada), de acordo com a figura seguinte. Os dois primeiros *bytes* de “*Data*” são desprezados. Os valores a utilizar nos campos de “*Data*” são apresentados no Anexo B.



Figura 4.4: Trama de ordem enviada por um sensor

Dentro deste tipo de mensagens existem também duas subcategorias designadas por mensagens de informação em tempo-real e localização. O carácter “R” está reservado para as tramas de tempo-real, sendo o tamanho de dados variável, bem como a informação nele contida. O carácter “L” é destinado às tramas de localização, onde o campo de dados possui 6 *bytes* organizados de modo a acomodar informação sobre o endereço do dispositivo controlador que recebeu o pacote, *sequence number* e valor de RSSI com que o pacote foi recebido. A Figura 4.5 representa os campos de “*Frame Type*”, “*Data*” e “*End Of Frame*” de uma trama de localização



Figura 4.5: Trama de uma mensagem de localização

## Estado

As mensagens de estado são utilizadas sempre que é necessário informar o servidor de um evento ocorrido na habitação, sendo enviadas para o endereço *broadcast* do protocolo B-Live Wireless, de modo a serem distinguidas facilmente das de ordem. Após a detecção de uma ocorrência na casa, ou apenas para monitorização do ambiente da habitação, deverá ser enviada uma mensagem de estado.

Relativamente à trama de estado, o carácter “s” é utilizado no campo “*Frame Type*”, sendo os campos seguintes referentes apenas às saídas e entradas do próprio dispositivo. Os dois primeiros *bytes* indicam o valor actual das saídas (ex: luz ligada ou desligada, ver Anexo C) e os quatro seguintes o valor das entradas (ex: medição da corrente consumida), com “*In 1*” e “*In 2*” de 16 bits (ver Anexo C). Na figura seguinte está esquematizada uma trama de estado.

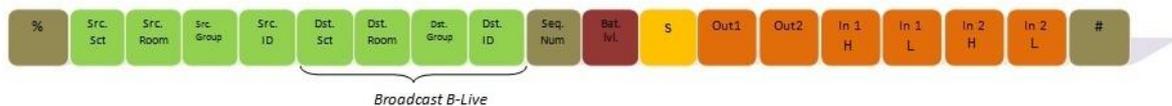


Figura 4.6: Trama de uma mensagem de estado

Existem também mensagens de pedido de estado (campo “*Frame Type*” com o valor “S” e sem campos de dados, Figura 4.7), utilizadas para obter informação das saídas e entradas do dispositivo. Assim, o elemento para qual o pedido foi efectuado deverá responder com uma mensagem que obedeça à estrutura descrita anteriormente (Figura 4.6).



Figura 4.7: Trama de uma mensagem de pedido de estado

## Configuração

As mensagens de configuração destinam-se a alterar parâmetros do dispositivo e possuem um *payload* com um total de seis *bytes* de informação, sendo que o primeiro se refere ao canal de comunicação utilizado e o segundo à potência de transmissão emitida. Os quatro *bytes* seguintes não têm um parâmetro associado podendo variar com o dispositivo em causa.



Figura 4.8: Trama de configuração do protocolo B-Live Wireless

Existem também mensagens destinadas a modificar a funcionalidade do dispositivo, através da alteração do seu endereço. Para isso, foi definida uma trama de alteração de endereço caracterizada por possuir “A” no campo “*Frame Type*”, seguido de 4 *bytes* com o novo endereço. É também disponibilizada a alteração do do destino, através da colocação do caracter “>” no campo “*Operação*” e do novo destino pretendido. Na Figura 4.9 é possível observar uma trama deste tipo.



Figura 4.9: Trama de alteração de endereços

### ***Acknowledge***

Em resposta a todas as mensagens enviadas pelos sensores e actuadores é enviada pelo controlador uma trama de *acknowledge* com o campo “*Frame Type*” preenchido com o código ASCII da letra “k” e sem informação no campo “*Data*”. A Figura 4.10 apresenta uma trama de *acknowledge* enviada pelo controlador da divisão.

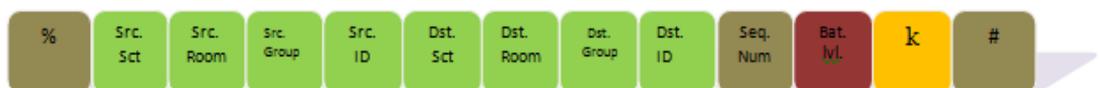


Figura 4.10: Trama de *acknowledge*

## 4.2. Sensores

Os sensores disponíveis no sistema B-Live têm como objectivo detectar os eventos ocorridos dentro da habitação, sendo também possível a sua utilização para monitorizar o ambiente. Até ao momento da escrita desta dissertação, foram desenvolvidos e implementados os seguintes dispositivos:

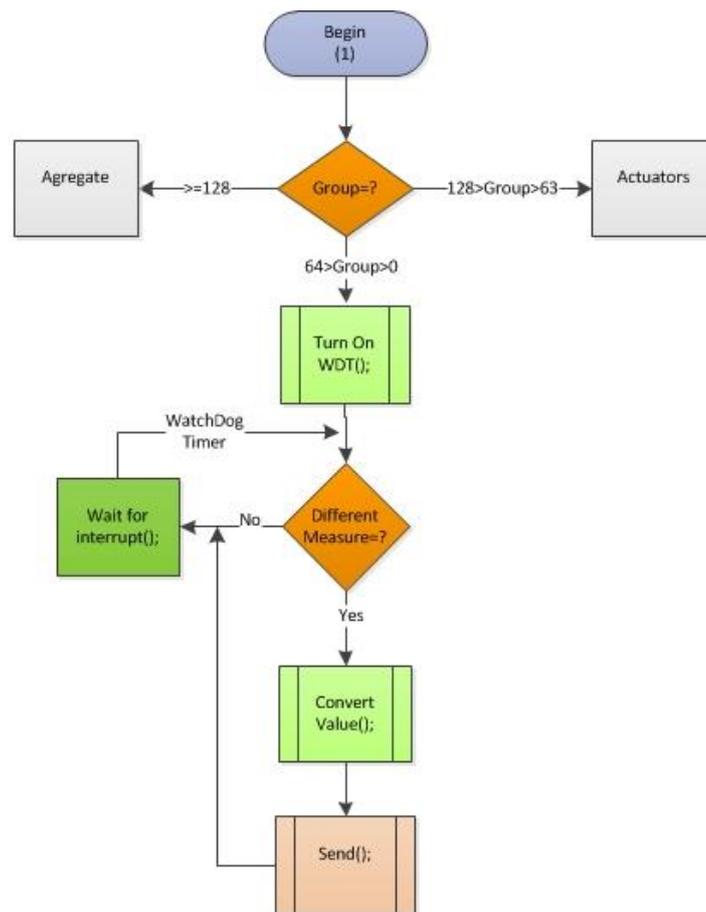
- Sensor capacitivo utilizado com a função de interruptor;
- Sensor magnético para detecção de abertura e fecho de portas e janelas;
- Sensor piezoeléctrico para detecção de impactos;
- Sensor piezoresistivo para detecção de pessoas em camas ou cadeiras;
- Sensor de luminosidade para monitorização da luz da habitação;
- Sensor de temperatura para monitorização da temperatura da habitação;
- Sensor de distância para detecção de aproximação de pessoas;
- Sensor de movimento para detecção de presença de pessoas numa divisão;
- Sensor de fumo para detecção de situações de fogo.

Apesar destes dispositivos possuírem características bastante distintas, foi necessário agrupá-los de modo a simplificar o seu endereçamento. No capítulo anterior referiu-se que a solução encontrada passou pela classificação em grupos, dependendo do modo de operação. No caso dos sensores foram definidos os seguintes grupos:

- Sensores Periódicos;
- Sensores Não Periódicos;
- Sensores de Impacto;
- Sensores de Comparação;
- Outros.

### 4.2.1. Sensores Periódicos

Este grupo pretende agrupar todos os dispositivos com a função de monitorizar o ambiente da habitação, enviando periodicamente mensagens (o tempo entre transmissões pode ser ajustável) com a informação recolhida. Neste, podem ser incluídos os sensores de luminosidade, temperatura e distância. Para uma melhor compreensão é ilustrado na Figura 4.11 um fluxograma representativo do funcionamento deste grupo de sensores.



(1) Todas as variáveis presentes no fluxograma são inicializadas a 0 e flags a No

Figura 4.11: Fluxograma de funcionamento dos sensores periódicos.

Após a inicialização de todas as configurações necessárias e identificação da funcionalidade, o dispositivo activa um *timer* (contador interno, neste caso *watchdog timer*) entrando em *Sleep* (representado na figura pelo estado “*Wait for interrupt();*”). Após um ciclo completo deste contador, que pode ser definido pelo programador, é gerada uma interrupção que “acorda” o dispositivo, efectuando uma medição ou verificação de

estado do ambiente. Caso esta seja diferente da medida obtida no ciclo anterior (valor inicial definido a 0), envia uma mensagem segundo o protocolo B-Live Wireless para o endereço *broadcast* B-Live com a informação recolhida.

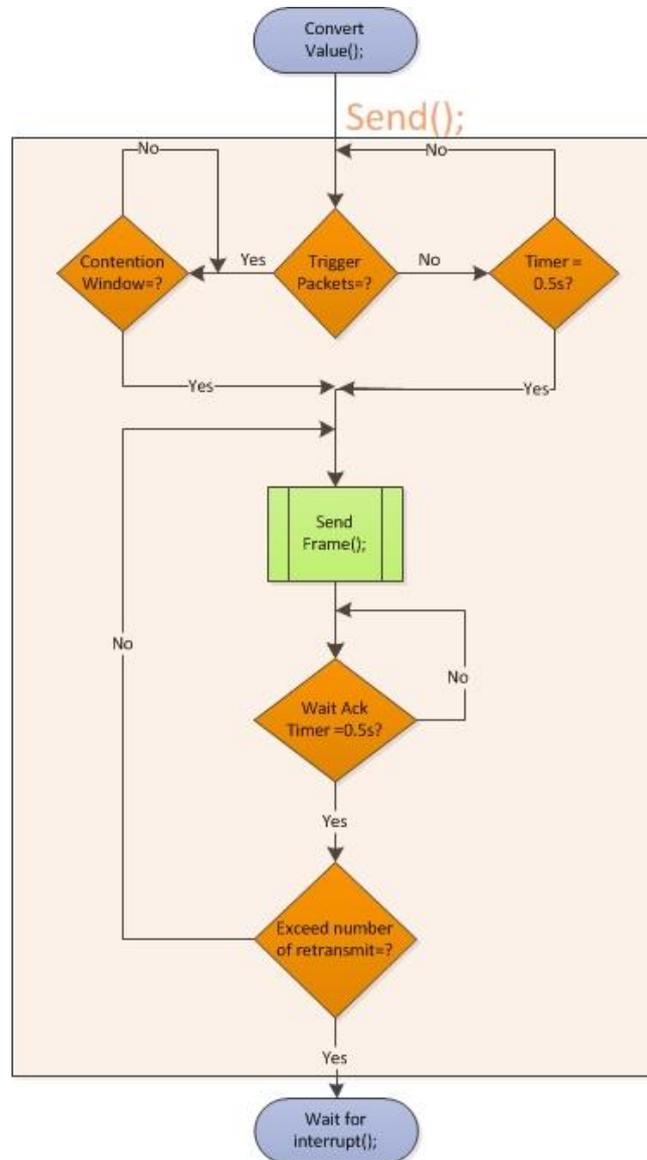


Figura 4.12: Fluxograma da função de envio de mensagens.

Para melhor compreensão do mecanismo de envio de mensagem é representado na Figura 4.12 um fluxograma da função *Send()*. Inicialmente é necessária a sincronização do dispositivo com o sistema B-Live Wireless, assim, este aguarda a recepção de um *trigger packet* com a informação do início e fim da janela de contenção (janela de comunicação para todos os dispositivos referidos nesta dissertação). No caso de por alguma falha do

sistema não existirem *trigger packets*, o dispositivo deverá aguardar um tempo mínimo de 0,5 segundos (superior a 2 ciclos elementares) para enviar a mensagem.

Após o seu envio, o dispositivo fica a aguardar pelos *acknowledges* necessários, sendo que, caso este não seja recebido num período de 0,5s, reenvia a mensagem inicial até um máximo de 2 retransmissões. Este mecanismo é comum a todos os dispositivos desenvolvidos no âmbito desta dissertação. Uma explicação mais profunda de cada um dos sensores periódicos é apresentada nos tópicos seguintes.

### Sensores de luminosidade e temperatura

Por operarem de forma semelhante, os sensores de luminosidade e temperatura serão abordados no mesmo tópico. Ambos são dispositivos móveis que utilizam baterias, possibilitando a sua colocação em qualquer lugar da casa, sem necessitar de instalação eléctrica dedicada. Por outro lado, é necessário ter em conta o seu consumo energético. Os esquemas de funcionamento do sensor de temperatura e luminosidade podem ser observados nas Figuras 4.13 e 4.14, respectivamente. As Tabelas 4.1 e 4.2 resumem as características de cada um dos sensores.

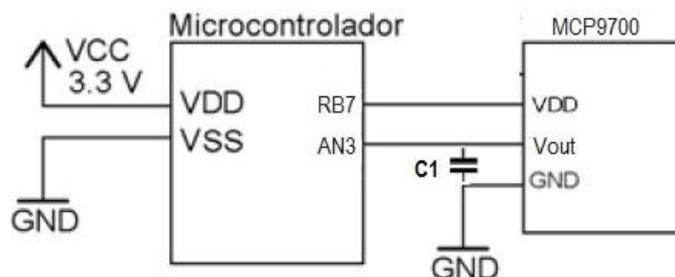


Figura 4.13: Esquema de montagem do sensor de temperatura

Para a medição da temperatura foi utilizado o módulo MCP9700 [28] da Microchip, caracterizado por ser um termístor linear com um gama de medição entre  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ , o suficiente para a monitorização da temperatura ambiente de uma habitação comum. A sua alimentação (3.3V) é efectuada através de um pino de I/O (RB7) de maneira a ligar o dispositivo momentos antes da medição e desligá-lo de seguida, poupando assim energia da bateria. A tensão de saída do sensor de temperatura liga directamente à entrada do

microcontrolador tendo sido colocado um condensador C1 de valor 100nF para filtragem do sinal.

Características do sensor de temperatura	
Sinal recebido	Sinal DC com offset de 500mV Temperatura linear 10mV /°C
Conversão do valor obtido (ADC 10 bits)	$Temp\ ^\circ C = (Vsens.*\frac{3300}{1024} - 500)/10$
Valor dos campos de dados (IN)	Ver anexo C (Grupo 30)
Períodicidade de medição	140 segundos
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de <i>sleep</i>	WatchDog Timer
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	AN3 (ADC)
Estado quando não utilizado	<i>Sleep</i>
Mecanismos de retransmissão	Sim
Consumo eléctrico do dispositivo ( <i>sleep</i> )	59µA

Tabela 4.1: Características do sensor de temperatura

### Sensor Luminosidade

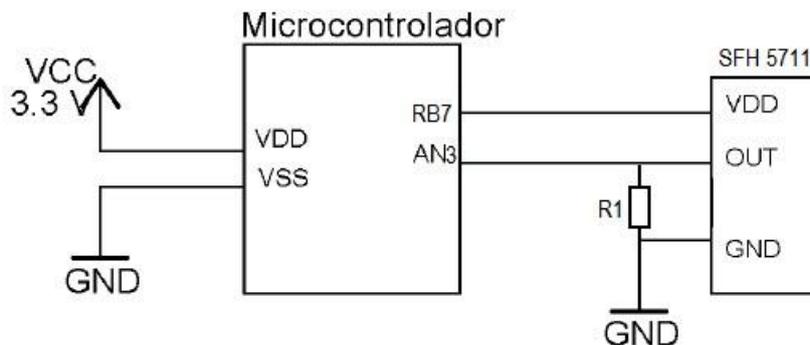


Figura 4.14: Esquema de montagem do sensor de luminosidade

Para a medição da luminosidade foi utilizado o módulo SFH 5711 [29], devido à sua resposta à gama de frequências da luz visível (Figura 4.15). A alimentação do módulo é efectuada através de um pino de I/O (RB7) de maneira a ligar o dispositivo apenas momentos antes da medição e desligá-lo de seguida. A saída é dada em corrente pelo que é necessária a colocação de uma resistência R1 de 68kΩ (informação retirada do *datasheet* do módulo) entre o terminal e a terra.

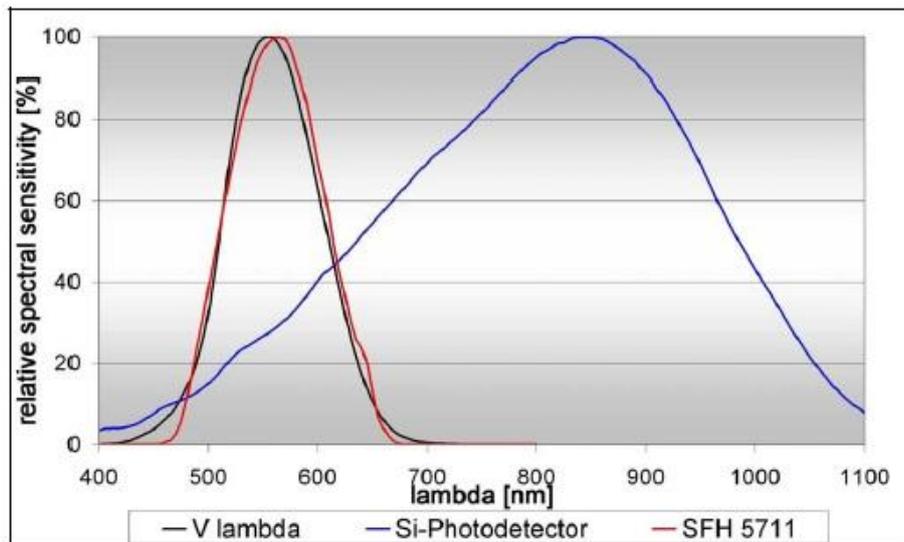


Figura 4.15: Gráfico comparativo da sensibilidade espectral do olho humano (a preto), do sensor utilizado SFH 5711 (a vermelho) e outro sensor foto-detector (azul) em relação ao comprimento de onda.(obtida de [29]).

A tabela seguinte resume as características do sensor de luminosidade.

<b>Características do sensor de luminosidade</b>	
Sinal recebido	Sinal entre 0 e 3.3V
Conversão do valor (sensor luminosidade)	$(lx = Vsens.* \frac{3300}{1024})$ com aproximação segundo [29]
Valor dos campos de dados (IN)	Ver anexo C (Grupo 42)
Períodicidade de medição	140 segundos
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de <i>sleep</i>	WatchDog Timer
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	AN3 (ADC)
Estado quando não utilizado	<i>Sleep</i>
Mecanismos de retransmissão	Sim
Consumo eléctrico do dispositivo ( <i>sleep</i> )	59µA

Tabela 4.2: Características do sensor de luminosidade

## Sensores de distância

Este sensor é utilizado para medir a distância de uma pessoa a um objecto da habitação. O módulo utilizado foi o SRF02 [30], com um alcance máximo de 6 metros. No entanto, para estas distâncias os resultados obtidos não são satisfatórios, dado que o seu alcance recomendado é de 2 metros.

Este dispositivo utiliza comunicação por porta-série sendo necessário ligar o pino “Mode” à terra (pino “Mode” na Figura 4.16) A medição da distância é recebida após o envio de um comando (ver Tabela 4.3) com a unidade de leitura pretendida, estando disponíveis centímetros, micro-segundos e polegadas. A unidade escolhida foi centímetros. Uma imagem do sensor utilizado e o esquema de montagem do sensor de distância podem ser observados nas Figuras 4.16 e 4.17.

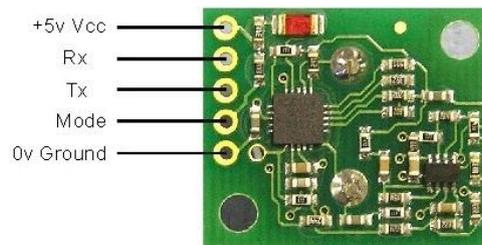


Figura 4.16: Sensor de distância SRF02

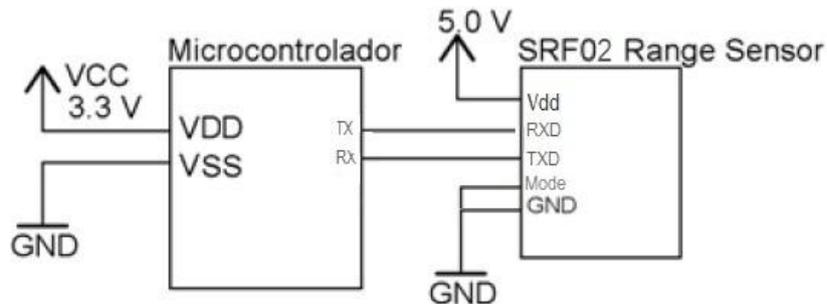


Figura 4.17: Esquema de montagem do sensor de distância

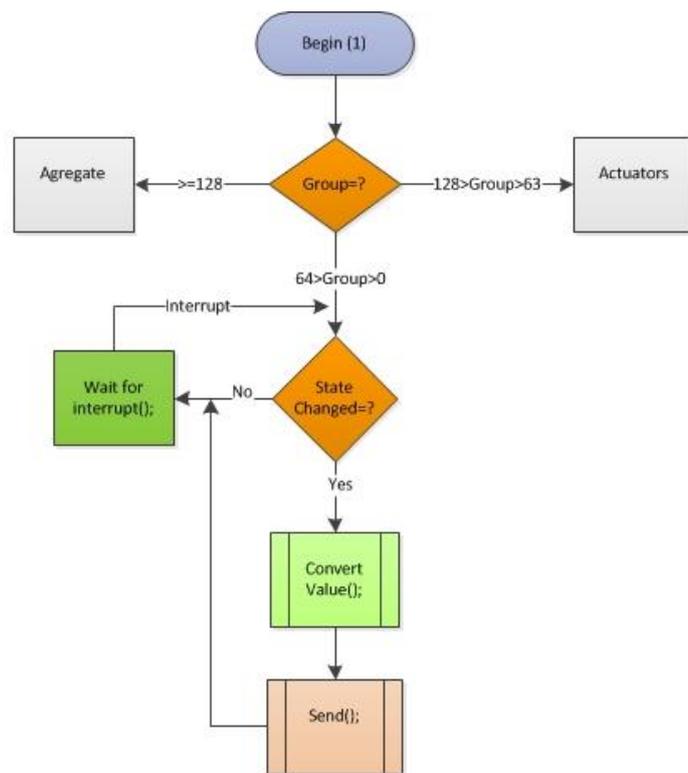
Após a leitura do comando enviado, o módulo inicia a medição enviando dois *bytes* com a distância em centímetros. A tabela seguinte resume as características deste sensor.

<b>Características do sensor de distância</b>	
Configuração necessária	Porta-Série, <i>baudrate</i> 9600, 1 <i>start bit</i> , 2 <i>stop bits</i> e <i>no parity</i>
Sinal recebido	16 <i>bits</i> , distância em centímetros
Conversão do valor recebido	Valor (mm) = Valor (cm)*10
Comando enviado para o módulo	0x00 0x54
Valor dos campos de dados (IN)	Anexo C (Grupo 40)
Períodicidade de medição	2 segundos
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de <i>sleep</i>	WatchDog Timer
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	RX e TX
Estado quando não utilizado	<i>Sleep</i>
Mecanismos de retransmissão	Sim

Tabela 4.3: *Características do sensor de distância*

#### **4.2.2. Sensores Não Periódicos**

A função dos sensores não periódicos é detectar um evento específico da habitação, geralmente despoletado por acção humana, enviando de seguida uma mensagem com a informação recolhida. Neste grupo podem ser incluídos os sensores magnéticos, PIR e fumo. Para uma melhor compreensão é ilustrado na Figura 4.18 um fluxograma representativo do funcionamento deste grupo de sensores.



(1) Todas as variáveis presentes no fluxograma são inicializadas a 0 e flags a No

Figura 4.18: Fluxograma de funcionamento dos sensores não periódicos

Após a inicialização de todas as configurações necessárias ao dispositivo, este entra no modo *Sleep* (representado na figura pelo estado “*Wait for interrupt();*”). Permanece neste estado até que seja detectado um evento (interrupção), enviando de seguida uma mensagem para o endereço *broadcast* B-Live com a informação recolhida. Estes sensores têm a capacidade de detectar o início e fim de uma acção do utilizador. Por exemplo, é possível detectar a abertura e fecho de uma porta, enviando informação associada a ambos os eventos. Uma explicação mais detalhada da implementação destes sensores pode ser encontrada nos tópicos seguintes.

### Sensores de magnéticos

Muito utilizados na detecção de abertura e fecho de portas e janelas, utilizam baterias para suportar uma maior flexibilidade de instalação. Contudo, é necessário ter em conta o seu consumo energético de forma a garantir autonomia elevada. O esquema de funcionamento do sensor magnético pode ser observado na figura seguinte.

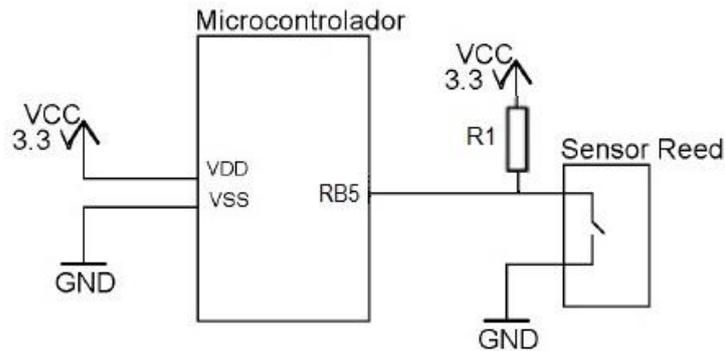


Figura 4.19: Esquema de montagem dos sensores magnéticos (adaptado de [3])

Neste circuito foi desactivada por *software*, a resistência de *pull-up* de entrada da porta RB5, tendo sido inserida uma resistência (R1) com o valor 820k $\Omega$  entre Vcc e a entrada do microcontrolador. Este mecanismo é utilizado para redução do consumo eléctrico da bateria, na situação em que o sensor *reed* se encontra fechado. Nessa situação a resistência R1 está sujeita a uma tensão de 3.3V consumindo aproximadamente 4 $\mu$ A, enquanto que na presença da resistência de *pull-up* da entrada do microcontrolador (cerca de 30k $\Omega$ ), o consumo de corrente seria de 100 $\mu$ A. A tabela seguinte resume as características deste sensor.

Características do sensor magnetico	
Sinal recebido	0 ou 3.3V
Conversão do valor recebido	Fechada (0V) Aberta (3.3V)
Valor dos campos de dados (IN)	Anexo C (Grupo 10)
Períodicidade de medição	Após um evento
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de <i>sleep</i>	Interrupção gerada pelo utilizador
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	RB5
Estado quando não utilizado	<i>Sleep</i>
Mecanismos de retransmissão	Sim
Consumo eléctrico do dispositivo ( <i>sleep</i> )	59 $\mu$ A (Aberto) 63 $\mu$ A (Fechado)

Tabela 4.4: Características do sensor magnético

## Sensores de PIR

Os sensores PIR (*Passive Infra-Red*), caracterizam-se por medir a luz infravermelha radiada por pessoas e objectos num espaço limitado, sendo utilizados para detecção de movimento. Apesar de existirem sensores PIR alimentados a baterias, a sua duração é limitada a um ano, assim, decidiu-se alimentar estes sensores através da rede eléctrica. No entanto, numa tentativa de redução de consumo energético toda a rotina de *Sleep* é mantida. O esquema de funcionamento do sensor PIR pode ser observado na Figura 4.20.

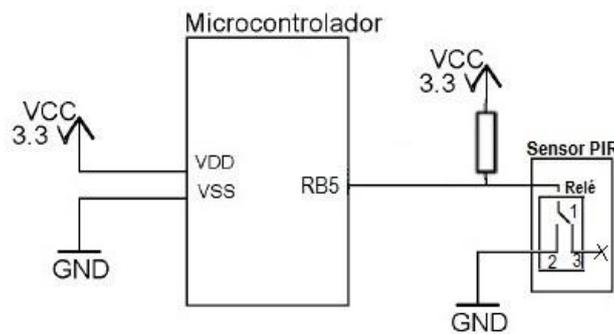


Figura 4.20: Esquema de montagem dos sensores PIR

Optou-se por utilizar uma solução comercial de um sensor PIR [31]. Este para além de detectar movimento, é caracterizado por possuir um circuito complementar de alimentação de uma lâmpada externa através de um relé. O circuito, liga o relé após a detecção de uma pessoa na sala, iniciando um *timer* (ajustável), e desliga o relé quando atinge o tempo definido pelo *timer*. De maneira a ser possível a integração deste sensor no protocolo B-Live Wireless e visto que o propósito deste sensor não é ligar/desligar uma lâmpada, foram adaptados os contactos do relé pertencentes à lâmpada (representados com os números 1, 2 e 3 na Figura 4.20), sendo substituídos pelas ligações ao microcontrolador representadas. Apesar do circuito do sensor PIR ser bastante complexo, para facilitar a descrição, apenas é representado na Figura 4.20 o relé referido anteriormente. Por fim, tal como no sensor magnético é colocada uma resistência de  $820\text{k}\Omega$  para redução do consumo. A tabela seguinte resume as características deste sensor.

<b>Características do sensor PIR</b>	
Sinal recebido	0 ou 3.3V
Conversão do valor recebido	Não há movimento (3.3 V) Movimento detectado (0 V)
Valor dos campos de dados (IN)	Anexo C (Grupo 12)
Períodicidade de medição	Após um evento
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de <i>sleep</i>	Interrupção gerada pelo utilizador
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	RB5
Estado quando não utilizado	<i>Sleep</i>
Mecanismos de retransmissão	Sim

Tabela 4.5: Características do sensor PIR

### **Sensores de fumo**

Os sensores de fumo destinam-se a detectar situações de incêndio na habitação, informando o servidor do início e fim da detecção de fumo. Devido às normas de segurança necessárias neste tipo de equipamentos, optou-se por utilizar um dispositivo sem-fios existente no mercado, criando posteriormente a interface de ligação com o sistema B-Live Wireless.

Para que fosse possível utilizar este dispositivo sem instalação eléctrica, permanecendo sem-fios, foi necessário o uso de uma bateria para alimentação do microcontrolador. Para garantir os requisitos de autonomia propostos, era essencial colocar tanto o microcontrolador como o transceptor em modo *sleep*, não permitindo assim o enquadramento segundo o protocolo WFTT nos dispositivos de alarme, visto que estes devem permanecer sempre activos. A montagem deste dispositivo está representada na Figura 4.21.

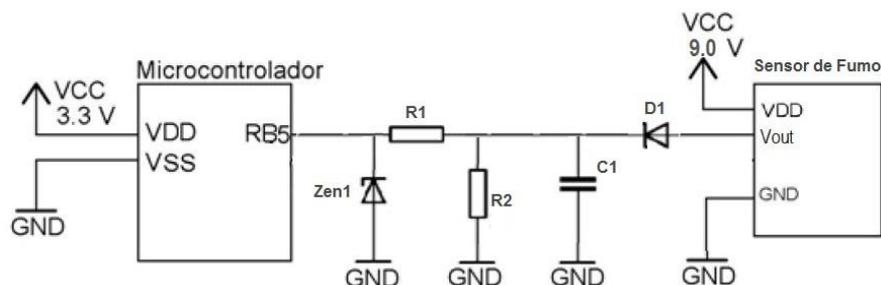


Figura 4.21: Esquema de integração do sensor de fumo no Protocolo B-Live Wireless

O sensor de fumo utilizado foi uma solução comercial [32], caracterizado por ser alimentado por uma pilha de 9V com duração prevista para um 1 ano e *buzzer* de sinalização sonora integrado. Apesar de este dispositivo possuir uma autonomia de apenas 1 ano, não foi possível encontrar no mercado um sensor de fumo sem-fios, que permitisse cumprir esse requisito.

A solução encontrada para integrar este sensor no protocolo B-Live Wireless passou pelo aproveitamento do sinal do *buzzer* aquando da detecção de alarme. Para isso, foi necessário o estudo das características deste sinal (Figura 4.22 é um esquema representativo do sinal do *buzzer*) e posterior tratamento, de maneira a ser possível a sua detecção pelo microcontrolador.

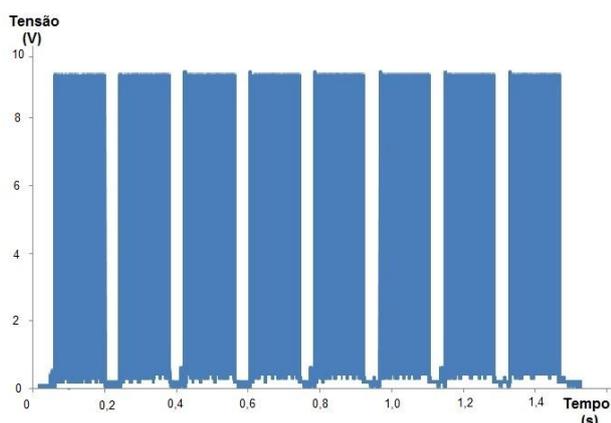


Figura 4.22: Esquema representativo do sinal do buzzer do sensor de fumo

Começou-se então por efectuar a filtragem do sinal, através do díodo D1 (1N4148), Condensador C1 (47 $\mu$ F) e resistência R2 (10k $\Omega$ ). De seguida procedeu-se á passagem deste sinal para os 3.3 V aceites no microcontrolador, para isso, utilizou-se um Zener de

3.3V e uma resistência R1 de valor 10kΩ para interligar os dois pontos. Por fim, o sinal é ligado á entrada do microcontrolador. A Tabela 4.6 resume as características destes sensores.

<b>Características do sensor de fumo</b>	
Sinal recebido	0 ou 3.3V
Conversão do valor recebido	Fim da detecção (0V) Detecção (3.3V)
Valor dos campos de dados (IN)	Anexo C (Grupo 16)
Períodicidade de medição	Após evento
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de <i>sleep</i>	Interrupção gerada por detecção de fumo na habitação
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	RB5
Estado quando não utilizado	<i>Sleep</i>
Mecanismos de retransmissão	Sim
Consumo eléctrico do dispositivo ( <i>sleep</i> )	59μA

Tabela 4.6: *Características do sensor fumo*

### 4.2.3 Sensores de Impacto

Os sensores de impacto são um caso particular dos sensores não periódicos, pois tal como estes, permitem detectar um evento específico da habitação, geralmente despoletado por acção humana. No entanto, destinam-se apenas a detectar o início do evento, não sendo possível detectar o fim do mesmo. Como tal, o seu funcionamento pode ser observado na Figura 4.18, já explicada anteriormente. Neste grupo podem ser incluídos os sensores piezoeléctricos e capacitivos.

## Sensores piezoelétricos

Os sensores piezoelétricos permitem detectar variações significativas de pressão podendo ser utilizados debaixo de mobiliário como cadeiras ou sofás, para detecção de presença de pessoas. Dado o consumo energético bastante reduzido (inferior a  $10\mu\text{A}$ ) do sensor, optou-se pelo uso de bateria de forma a facilitar a instalação deste tipo de sensor. O esquema de montagem correspondente pode ser observado na Figura 4.23.

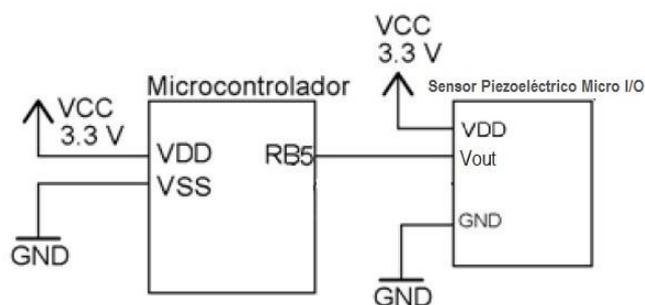


Figura 4.23: Esquema de montagem dos sensores piezoelétricos

O módulo utilizado foi projectado e desenvolvido na empresa Micro I/O, pelo que neste caso, apenas foi necessária a sua integração no sistema B-Live Wireless. É caracterizado por gerar um impulso de aproximadamente 3.3V na saída, após a detecção de um impacto, sendo alimentado com 3.3V.

Características do sensor piezoelétrico	
Sinal recebido	Impulso de 3.3V
Conversão do valor recebido	Impacto detectado (3.3V)
Valor dos campos de dados (IN)	Anexo C (Grupo 13)
Períodicidade de medição	Após evento
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de <i>sleep</i>	Interrupção gerada pelo utilizador
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	RB5
Estado quando não utilizado	<i>Sleep</i>
Mecanismos de retransmissão	Sim
Consumo eléctrico do dispositivo ( <i>sleep</i> )	$65\mu\text{A}$

Tabela 4.7: Características do sensor piezoelétrico

## Sensores capacitivos

Os sensores capacitivos, como o nome sugere, permitem detectar variações de capacidade, como por exemplo, aquelas que resultam de se aproximar uma mão de uma placa de cobre. Este mecanismo pode ser usado para construir um interruptor que não requer actuação física, ou seja, o utilizador pode alterar o estado do interruptor sem contacto físico, apenas por aproximação da mão ao sensor, garantindo uma maior segurança e higiene de utilização.

Apesar destes sensores permitirem detectar o início e fim de um evento (aproximar e afastar da mão), foram incluídos no grupo de sensores de impacto por ser apenas necessário detectar a aproximação. De maneira a ser possível a criação de um interruptor portátil, recorreu-se à utilização de uma bateria. Na figura seguinte é possível observar o esquema de montagem do sensor capacitivo.

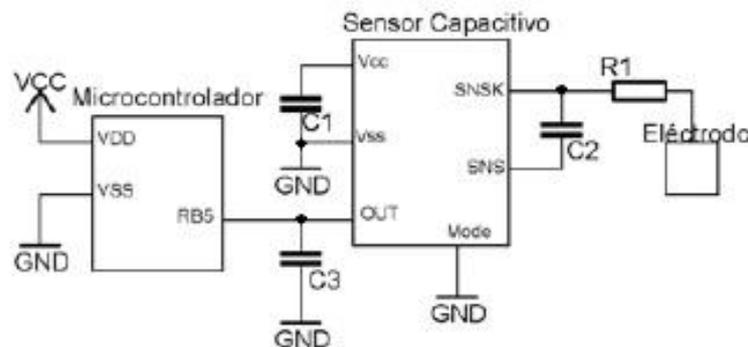


Figura 4.24: Esquema de montagem dos sensores capacitivos (adaptado de [3])

O módulo utilizado foi projectado e desenvolvido na empresa Micro I/O, no entanto devido ao seu elevado consumo eléctrico necessitou de ser alvo de uma reformulação, tendo sido alterado o valor do condensador C2 para  $10\mu\text{F}$ . Os restantes componentes são condensador C1 com  $100\mu\text{F}$ , condensador C3 com  $100\mu\text{F}$  e resistência R1 com  $10\text{k}\Omega$ . Este dispositivo é caracterizado por ser alimentado a  $3.3\text{V}$ . A Tabela 4.8 resume as características deste sensor.

<b>Características do sensor capacitivo</b>	
Sinal recebido	3.3V
Conversão do valor recebido	Impacto detectado (3.3V)
Valor dos campos de dados (IN)	Anexo C (Grupo 13)
Períodicidade de medição	Após evento
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de sleep	Interrupção gerada pelo utilizador
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	RB5
Estado quando não utilizado	<i>Sleep</i>
Mecanismos de retransmissão	Sim
Consumo eléctrico do dispositivo ( <i>inactivo</i> )	Inferior a 20 $\mu$ A

Tabela 4.8: Características do sensor capacitivo

Após a verificação do consumo eléctrico dos interruptores capacitivos, verificou-se que ainda não cumpriam o requisito de 5 anos de duração (consumo superior a 80 $\mu$ A), pelo que foi necessário criar um circuito complementar que permitisse o aumento da duração deste dispositivo.

### **Circuito complementar de redução de consumo de energia**

Uma solução encontrada para reduzir o consumo energético do sensor capacitivo foi a utilização de um circuito complementar, que possibilita ao microcontrolador desligar-se em caso de não estar a ser utilizado, permitindo que apenas o sensor capacitivo permaneça ligado. A Figura 4.25 apresenta o esquema de montagem do sensor capacitivo com circuito complementar de redução de consumo energético.

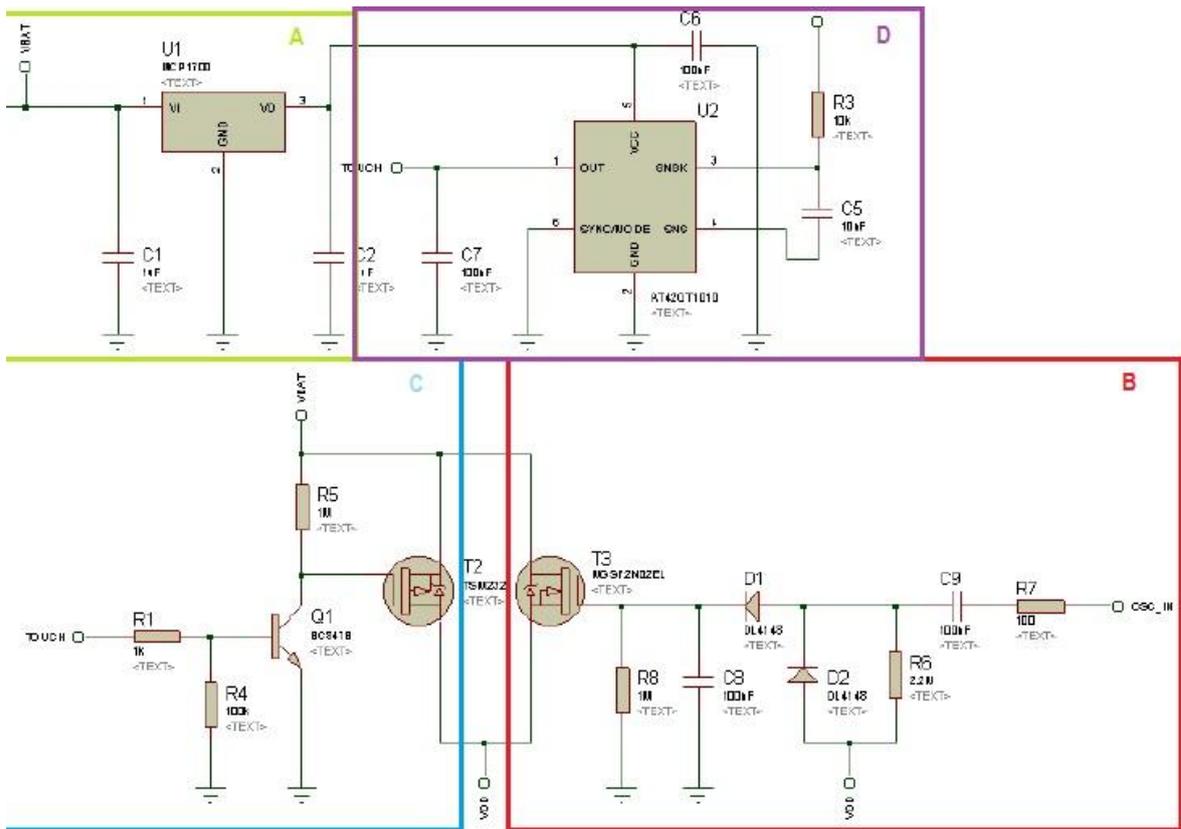


Figura 4.25: Esquema de montagem do sensor capacitivo com circuito de redução do consumo

Consultando o *datasheet* do sensor capacitivo, foi possível verificar que a sua tensão de alimentação mínima se situa nos 1.8 V, no entanto, este era alimentado a 3.3V, consumindo mais 15 $\mu$ A que o necessário. Em consequência, a tensão de alimentação foi reduzida através da introdução de um regulador de 1.8V (MCP1700 com consumo de 2 $\mu$ A) entre a bateria e os pinos de alimentação do sensor (circuito representado na Figura 4.25 com a letra “A”).

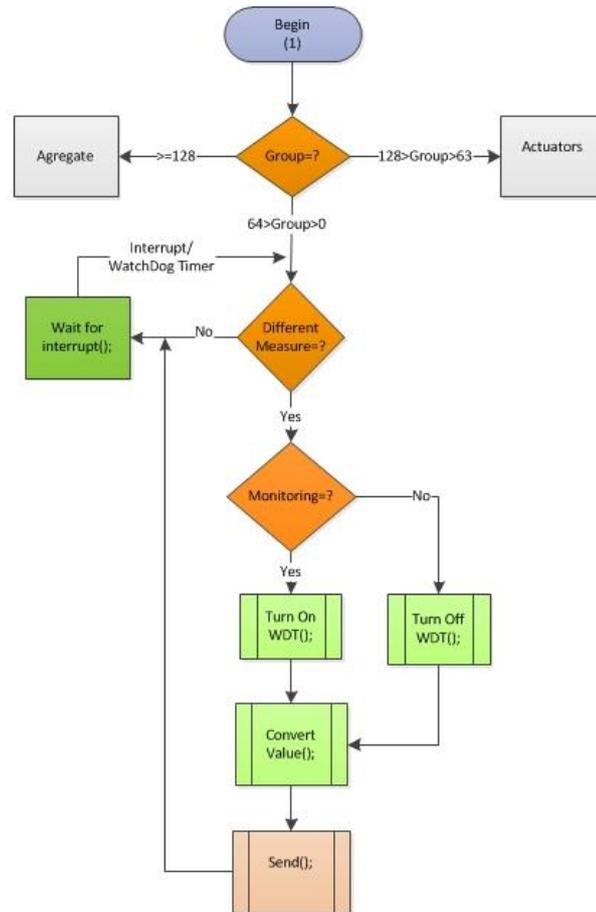
De maneira a eliminar o consumo do microcontrolador em modo *sleep*, foi desenhado um circuito (representado na Figura 4.25 com a letra “B”), que permite desligar o microcontrolador em caso de inatividade. Assim, utilizando o pino do oscilador interno (3.3V pico-a-pico) do microcontrolador, foi utilizado um circuito duplicador de tensão, que ligado a um transístor MOSFET de canal N (MGSF2N02EL), tendo no dreno a tensão da bateria e na *source* o pino de alimentação do microcontrolador, permite manter este último activo, enquanto o oscilador está ligado, e inactivo quando o oscilador é desligado (por exemplo rotina de *sleep*).

Por fim, foi necessário um circuito de reactivação do microcontrolador após a detecção de um evento por parte do sensor capacitivo (representado na Figura 4.25 com a letra “C”). Este consistiu no aproveitamento do sinal de 1.8 V de saída do sensor capacitivo, para activação de um transistor bipolar (BC8478), que por sua vez, está ligado à gate de um MOSFET de canal P (TSM2323). Ao ser activado, o BJT, polariza o MOSFET, que desta forma, efectua a ligação da tensão da bateria, com o pino VDD de alimentação do microcontrolador, inicializando-o. O circuito com a letra “D” representa a montagem do sensor capacitivo apresentado anteriormente

#### **4.2.4. Sensores de Comparação**

Os sensores de comparação pretendem ser uma conjugação dos sensores periódicos e não periódicos, a sua função é também monitorizar o ambiente da habitação, sendo que, apenas iniciam a sua tarefa após a detecção de um evento específico, permitindo assim uma maior eficiência energética.

Um exemplo da utilização deste tipo de funcionalidade pode ser encontrado na monitorização de um peso sobre uma cadeira. O sensor é activo após a detecção de uma pessoa sobre o objecto e desactivo quando esta se levanta. É assim possível evitar que o dispositivo esteja permanentemente activo, o que permite uma redução do consumo da bateria. A Figura 4.26 apresenta um fluxograma representativo do funcionamento deste grupo de sensores.



(1) Todas as variáveis presentes no fluxograma são inicializadas a 0 (No)

Figura 4.26: Fluxograma de funcionamento dos sensores de comparação

Após a inicialização o dispositivo deverá entrar no modo *Sleep* (representado na Figura 4.26 pelo estado "Wait for Interrupt();"), permanecendo assim até à detecção de um evento de início. Após a ocorrência deste evento (por exemplo, detecção de peso numa cadeira), o dispositivo deverá iniciar a monitorização do estado do sensor, ligando um *timer* (*WatchDog Timer*) e "acordando" periodicamente para medição do valor actual presente na entrada. No caso de o dispositivo verificar o fim da monitorização (não detecção de peso na cadeira), deverá desligar o *timer* referido, enviar a informação recolhida e voltar novamente ao modo *Sleep*.

## Sensores piezoresistivos

Os sensores piezoresistivos são utilizados no sistema B-Live Wireless para presença de pessoas sobre peças de mobiliário como camas e cadeiras. Assim, visto serem elementos móveis é necessária a utilização de baterias para facilitar a sua instalação e utilização. O esquema de montagem deste sensor pode ser observado na Figura 4.27.

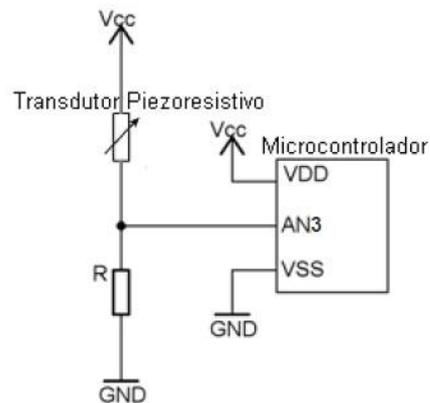


Figura 4.27: Esquema de montagem dos sensores piezoresistivos (adaptado de [3])

O transdutor piezoresistivo utilizado foi o FSR406 [33], tendo sido criado um divisor resistivo com a resistência R (10k $\Omega$ ) de maneira a ser possível detectar as variações de pressão aplicadas. A saída deste circuito está ligada a um comparador com tensão de referência de 1.2V, gerando uma interrupção após a tensão de entrada ser superior à tensão de referência. A tabela seguinte resume as características destes sensores.

<b>Características do sensor piezoresistivo</b>	
Sinal recebido	0 a 3.3V
Conversão do valor recebido	Não há detecção [0V a 1.2V] Detecção [1.2V a 3.3V]
Valor dos campos de dados (IN)	Anexo C (Grupo 44)
Períodicidade de medição	10 em 10 segundos, após detecção
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de <i>sleep</i>	Interrupção para detectar evento WatchDog Timer para monitorização
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	AN3 (Comparador)
Estado quando não utilizado	<i>Sleep</i>
Mecanismos de retransmissão	Sim
Consumo eléctrico ( <i>sleep</i> )	120µA

Tabela 4.9: *Características do sensor piezoresistivo*

#### **4.2.5. Outros sensores**

Esta categoria pretende agrupar todos os dispositivos que por possuírem características distintas de todos os outros, necessitam de código específico. Até ao momento de escrita da presente dissertação apenas um dispositivo se encaixava neste perfil, o sensor de corrente, pelo que será abordado individualmente no tópico seguinte. O esquema de funcionamento é semelhante ao grupo de sensores “Não Periódicos”, enviando o seu estado sempre que é detectada uma alteração na corrente medida, no entanto permanece sempre activo.

## Sensor corrente

Os sensores de corrente eléctrica têm um papel cada vez mais preponderante nos sistemas eléctricos de hoje em dia. São utilizados nas habitações principalmente em equipamentos de elevada potência (>1000W), de maneira a ser possível uma monitorização eficaz do seu consumo. No sistema B-Live Wireless são utilizados conjuntamente com actuadores de tomadas, enviando uma mensagem de estado sempre que existe uma variação na corrente medida. O esquema de montagem deste dispositivo pode ser observado na Figura 4.28.

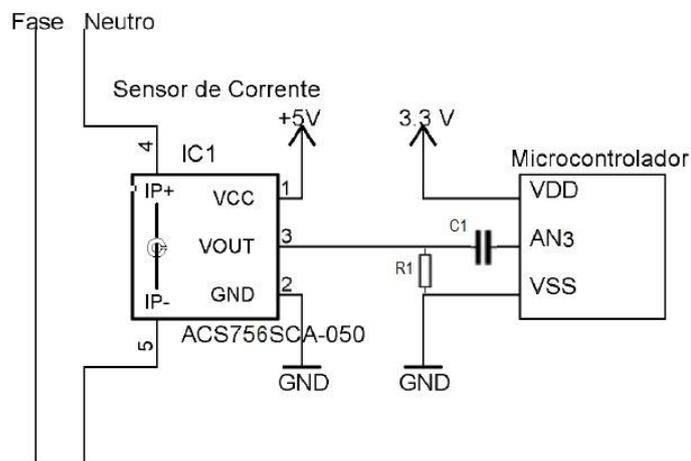


Figura 4.28: Esquema de montagem dos sensores de corrente

A saída do sensor ACS756SCA-050 [34] é caracterizada por possuir um sinal DC de offset  $VDD/2$ , ou seja 1.65V, para uma tensão de alimentação de 3.3V. Após detecção de corrente, gera um sinal AC de amplitude proporcional à corrente medida com uma sensibilidade de 40mV / A, pelo que para obter melhores resultados foi adicionado um filtro passa-baixo com frequência de corte de aproximadamente 100Hz com um condensador de 100nF (C1) e resistência de 10k $\Omega$ (R1). Após a filtragem, o sinal é amostrado pelo microcontrolador a uma frequência de 2kHz calculando posteriormente a amplitude pico a pico e convertendo-a em miliamperes. As características deste sensor estão resumidas na Tabela 4.10.

<b>Características do sensor de corrente</b>	
Sinal recebido	Sinal AC com valores pico a pico de 0 a 3.3V, sobreposto sobre um sinal DC com offset 1.65V.
Conversão do valor recebido	Inicialmente é feita uma amostragem do sinal, calculando de seguida a sua amplitude pico a pico. A linearização do valor foi efectuada com base em medições de várias correntes eléctricas.
Valor dos campos de dados (IN)	Anexo C (Grupo 31)
Períodicidade de medição	Caso exista variação da corrente
Mecanismo usado para acordar o microcontrolador de <i>sleep</i>	Não necessário
Pinos do microcontrolador utilizados para medição	AN3 (ADC)
Estado quando não utilizado	Activo
Mecanismos de retransmissão	Sim

Tabela 4.10: *Características do sensor de corrente*

### 4.3. Actuadores

Os actuadores existentes no sistema B-Live Wireless permitem interagir com o ambiente da habitação, facilitando a tarefa ao utilizador em caso de este possuir dificuldades motoras ou, caso seja pretendido, actuar em situações de emergência. Até ao momento da escrita desta dissertação estão integrados no sistema os seguintes elementos:

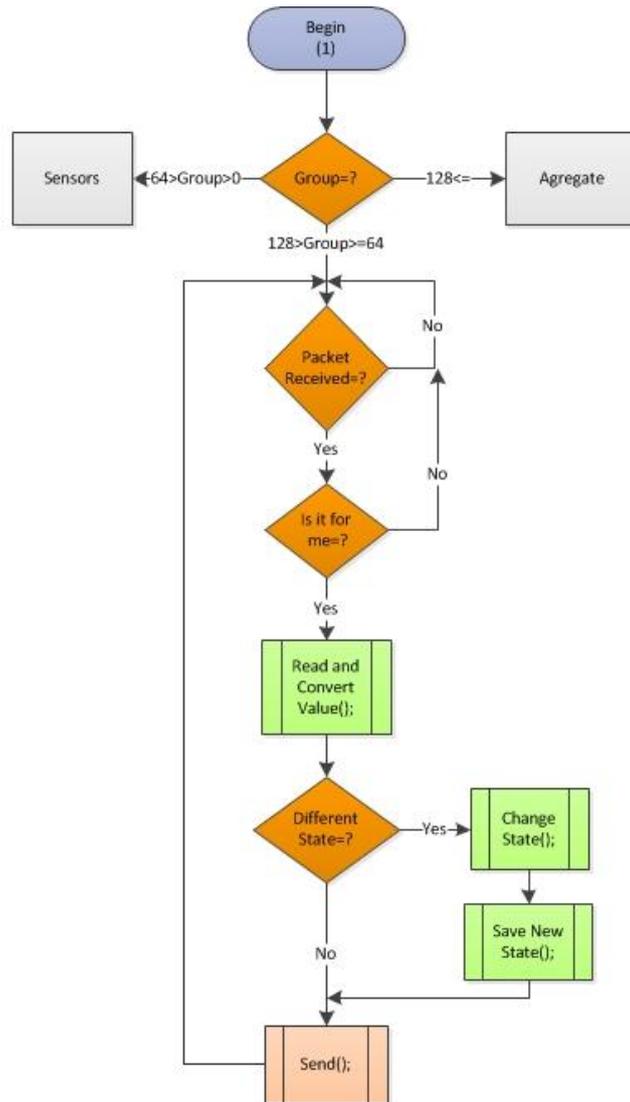
- Actuador de lâmpadas utilizado para ligar e desligar lâmpadas;
- Actuador de portas utilizado para abrir e fechar portas;
- Actuador electroválvula utilizado para ligar e desligar torneira;
- Actuador tomadas utilizado para ligar ou desligar uma tomada;
- Actuador estores utilizado para abrir ou fechar estores;
- Buzzer para sinalização de eventos.

Apesar de todos possuírem características distintas, foi necessário efectuar um agrupamento por funcionalidades, simplificando assim o seu endereçamento. Para o caso dos actuadores foram definidos os seguintes grupos:

- Actuador ON / OFF
- Outros actuadores

#### **4.3.1 Actuadores ON / OFF**

Os dispositivos actuadores permitem a interacção com o ambiente da habitação permitindo ligar/desligar os equipamentos. Devido aos seus requisitos de potência, todos necessitam de alimentação permanente da rede, entrando em funcionamento após um pedido de actuação do *gateway* ou sensor, permanecendo sempre activos. No sistema B-Live Wireless, estão actualmente disponíveis actuadores de lâmpada, porta, tomada e electroválvula. Na figura seguinte é possível observar o fluxograma de funcionamento dos actuadores ON / OFF.



(1) Todas as variáveis presentes no fluxograma são inicializadas a 0 (No)

Figura 4.29: Fluxograma de funcionamento de um actuador ON / OFF

Após a inicialização de todas as configurações necessárias, os actuadores ON/ OFF ficam a aguardar a recepção de uma mensagem de actuação. Quando isso ocorre, se a mesma lhes for dirigida, efectuam a sua interpretação e verificam se é necessária uma alteração das saídas físicas do dispositivo (actuação). Por fim, após guardar o estado actual das saídas, para reporem num cenário de falha de energia, enviam uma mensagem para o endereço *broadcast* B-Live informando sobre o seu estado actual. Visto que o funcionamento é semelhante em todos os actuadores a Figura 4.30 apresenta o esquema de montagem geral.

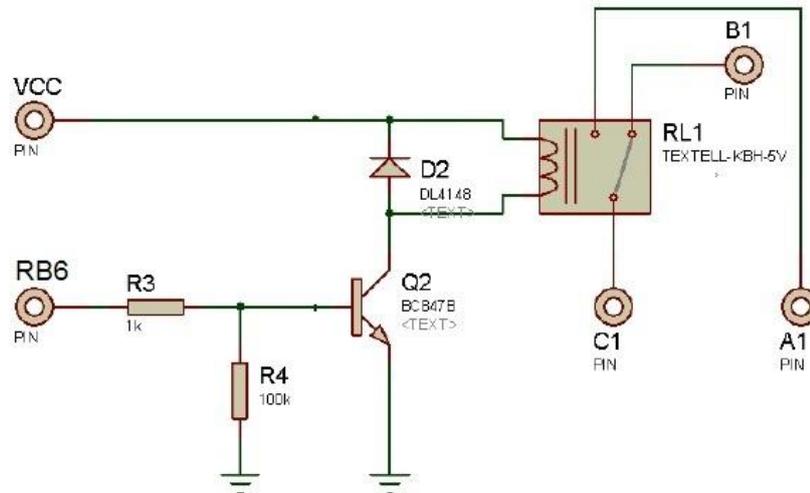


Figura 4.30: Esquema de montagem de um actuador ON / OFF

O sistema centra-se na utilização de um relé electromecânico de 5 Vdc [35]. Assim, o pino representado por Vcc deverá ser alimentado a 5 V, estando o pino RB6 ligado à saída física do microcontrolador. No caso da saída ter o valor 0 V, o transístor bipolar Q2 não entrará em condução, pelo que nenhuma corrente passará na bobine do relé RL1, criando um curto-circuito entre os pinos C1 e B1. No caso de a saída do microcontrolador (RB6) ter valor 3.3 V, o transístor Q2 entrará em condução, activando o relé RL1 e criando um curto-circuito entre C1 e A1.

O actuador pretendido deverá ser ligado em série com os pinos C1 e A1 para o caso de ser “normalmente fechado” ou, pinos C1 e B1 para o caso de ser “normalmente aberto”. Apesar de todos os dispositivos actuadores ON/OFF estarem prontos, não estavam disponíveis até ao momento da escrita da presente dissertação, os motores que serão ligados aos actuadores. A tabela seguinte resume as características destes actuadores.

<b>Características do actuador ON/OFF</b>	
Sinal enviado	0 ou 3.3V
Conversão do valor enviado	Ligado (3.3V) Desligado (0V)
Valor dos campos de dados (OUT)	Anexo C
Períodicidade de actuação	Após um pedido de actuação
Pinos do microcontrolador utilizados para actuação	RB6
Estado quando não utilizado	Activo
Mecanismos de retransmissão	Sim

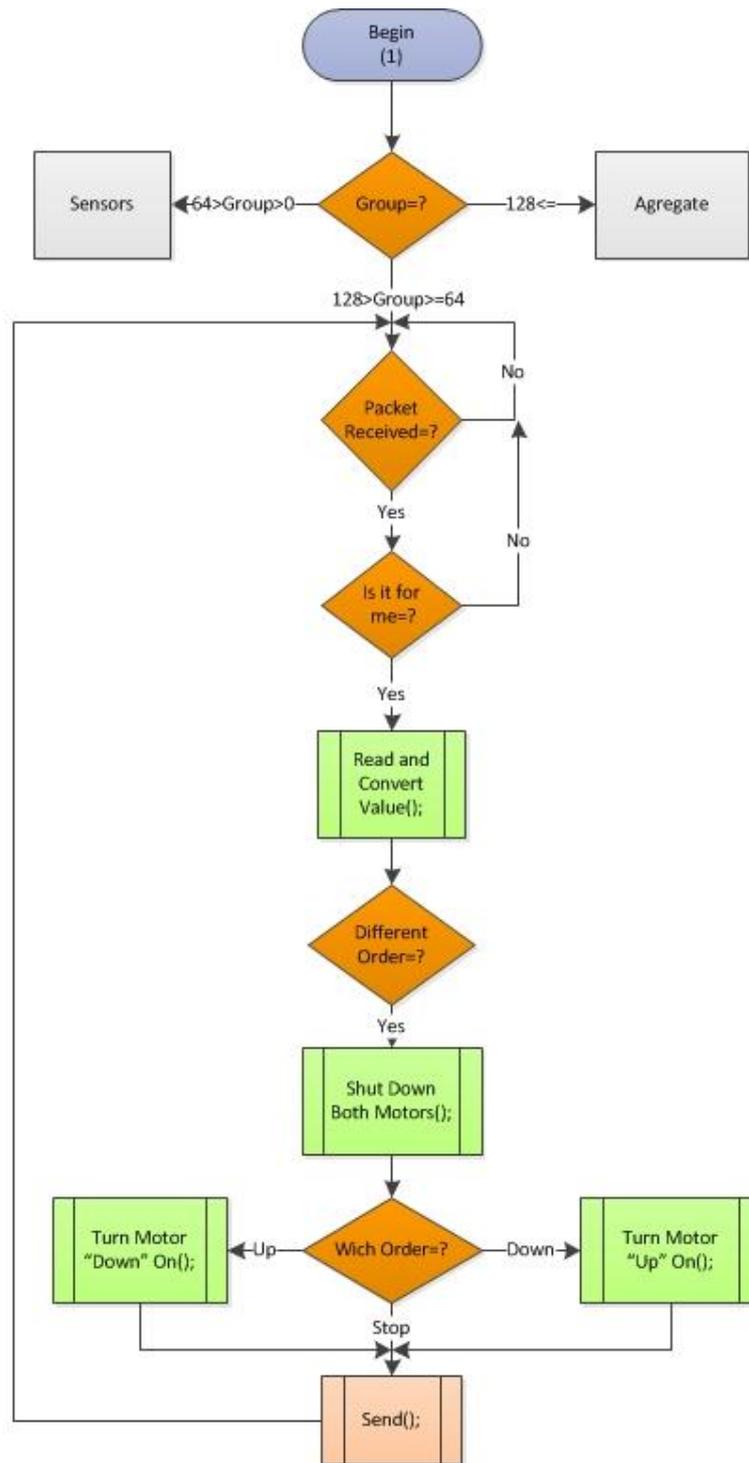
Tabela 4.11: Características do actuador ON / OFF

### 4.3.2 Outros actuadores

Esta categoria pretende agrupar todos os dispositivos que por possuírem características distintas dos restantes, necessitam de código específico. Todos os elementos associados a este grupo estão de acordo com o protocolo B-Live Wireless podendo no entanto, utilizar tramas de tamanho variável (chamadas tramas longas) para receber ordens mais complexas. Até ao momento de escrita da presente dissertação apenas dois dispositivos se encaixavam neste perfil, o controlador de estores e o *buzzer*.

#### Actuador de estores

Este actuador permite ao utilizador “abrir” e “fechar” electricamente os estores da habitação. Utiliza dois motores, pelo que são necessárias duas saídas do microcontrolador, estando cada uma ligada a um relé. Um motor é responsável pela subida e outro pela descida dos estores. Neste sentido, foram necessárias alterações ao modo de funcionamento deste dispositivo em relação aos actuadores ON / OFF apresentados. A figura 4.31 apresenta um fluxograma de funcionamento do actuador de estores.



(1) Todas as variáveis presentes no fluxograma são inicializadas a 0 (No)

Figura 4.31: Fluxograma de funcionamento dos actuadores de estores

Após a inicialização de todas as configurações necessárias, o actuador fica a aguardar que uma mensagem de actuação lhe seja enviada. Após a sua recepção, é

necessário garantir que os dois relés não estão ligados ao mesmo tempo, pelo que ambos são desligados. De seguida é ligado o motor pretendido fazendo accionar os estores. No caso de se pretender parar a abertura/fecho do equipamento, foi acrescentada a opção “*Stop*” (*byte* 0x80), que indica ao dispositivo para desligar ambos os relés.

### ***Buzzer***

O *Buzzer* é um dispositivo actuador com o intuito de sinalizar sonoramente um evento, permitindo ao utilizador a reprodução de 16 melodias pré-definidas no microcontrolador, Assim insere-se no conjunto de dispositivos actuadores, recebendo tramas de operação normal definidas pelo campo *Frame Type* “:”. A trama de actuação, para além dos habituais campos de controlo e endereçamento, caracteriza-se por utilizar apenas um *byte* de “*Data*” (*Out 1*) servindo de configuração, sendo os restantes desprezados. Este é definido por: 1 *bit* de “*Loop*” possibilitando a repetição da mesma melodia, 3 *bits* reservados para futuras implementações e 4 *bits* para escolha da melodia pretendida. A figura 4.32 apresenta o *byte* configuração do *buzzer*.



Figura 4.32: Campo de configuração do *buzzer*

O funcionamento do *buzzer* é caracterizado por utilizar dois *timers*, o primeiro efectua o controlo da frequência da nota, ligando e desligando o pino RB6 (0 V e 3.3 V) e o segundo *timer* controla o tempo de duração da nota. Como referido, os tempos e frequências de cada som encontram-se gravados na memória do microcontrolador. O esquema de ligação do *buzzer* pode ser observado na Figura 4.33.

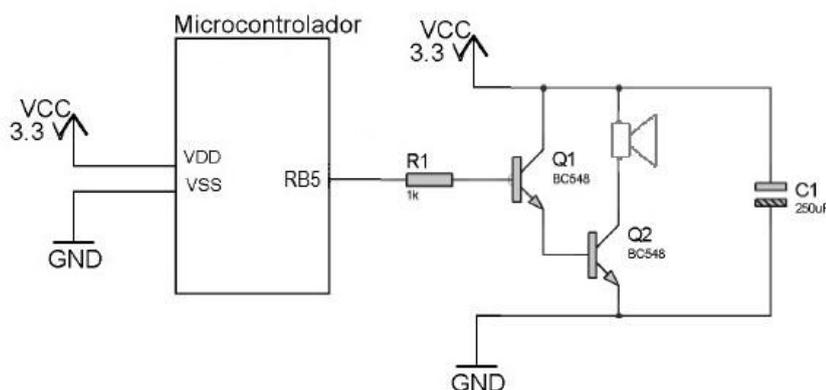


Figura 4.33: Esquema de ligação do buzzer

A saída do microcontrolador quando está activa, polariza o BJT Q1 e por sua vez, o BJT Q2, fornecendo a corrente necessária ao *buzzer* para funcionar. Na Tabela 4.12 estão resumidas as características do dispositivo *buzzer*.

Características do actuador <i>Buzzer</i>	
Sinal enviado pelo microcontrolador	Onda quadrada com diferentes frequências
Valor dos campos de dados (OUT)	-
Períodicidade de actuação	Após um pedido de actuação
Pinos do microcontrolador utilizados para actuação	RB6
Estado quando não utilizado	Activo
Mecanismos de retransmissão	Sim

Tabela 4.12: Características do actuador *Buzzer*

#### 4.4. Agregados

Os dispositivos agregados são elementos do sistema com capacidade para efectuar duas ou mais funcionalidades, podendo estas ser de actuador ou sensor. O desenvolvimento destes pretende aproveitar os conhecimentos adquiridos durante a concepção dos restantes elementos do sistema, pelo que serão abordados de forma breve. Os agregados são tendencialmente mais complexos, mas com melhor relação funcionalidade/custo, sendo

criados individualmente, pelo que não existem grupos de funcionalidades, ficando a cargo do programador a junção das diferentes funções pretendidas.

Para instalação no pré-piloto da Micro I/O, foi desenvolvido um protótipo de um dispositivo actuador de tomada, com sensor de corrente, possuindo ainda um interruptor capacitivo. De maneira a que este grupo esteja de acordo com o protocolo B-Live Wireless, foi definido que as tramas enviadas por estes elementos, são idênticas às dos sensores e actuadores. Na Figura 4.34 é possível observar parte de uma trama B-Live Wireless de actuação a um dispositivo agregado, estando os valores dos vários campos presentes no anexo C.

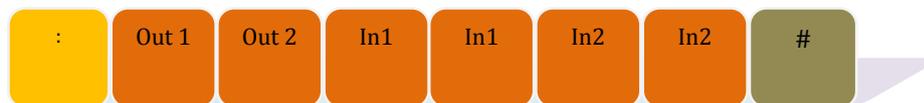


Figura 4.34: Campos “frame type”, “data” e “fim de trama” de uma trama B-Live Wireless

O campo “Out 1” e “Out 2” representam os valores físicos apresentados nas saídas, caso o dispositivo possua a função de duplo actuador. Os campos “In 1” e “In 2” (16 bits) referem-se aos valores medidos nas entradas, caso este possua função de duplo sensor. Como referido, é também possível os dispositivos agregados serem actuadores e sensores ao mesmo tempo.

Por fim, é necessário referir que tal como os actuadores e sensores, estes elementos enviam uma mensagem, sempre que mudam de estado, ou, detectam um evento.

## Actuador ON / OFF com sensor corrente e sensor capacitivo

O funcionamento deste dispositivo agrega a funcionalidade de actuador ON / OFF, sensor não periódico e sensor de corrente, sendo que a sua máquina de estados será uma junção de todos estes podendo ser observada na Figura 4.35.

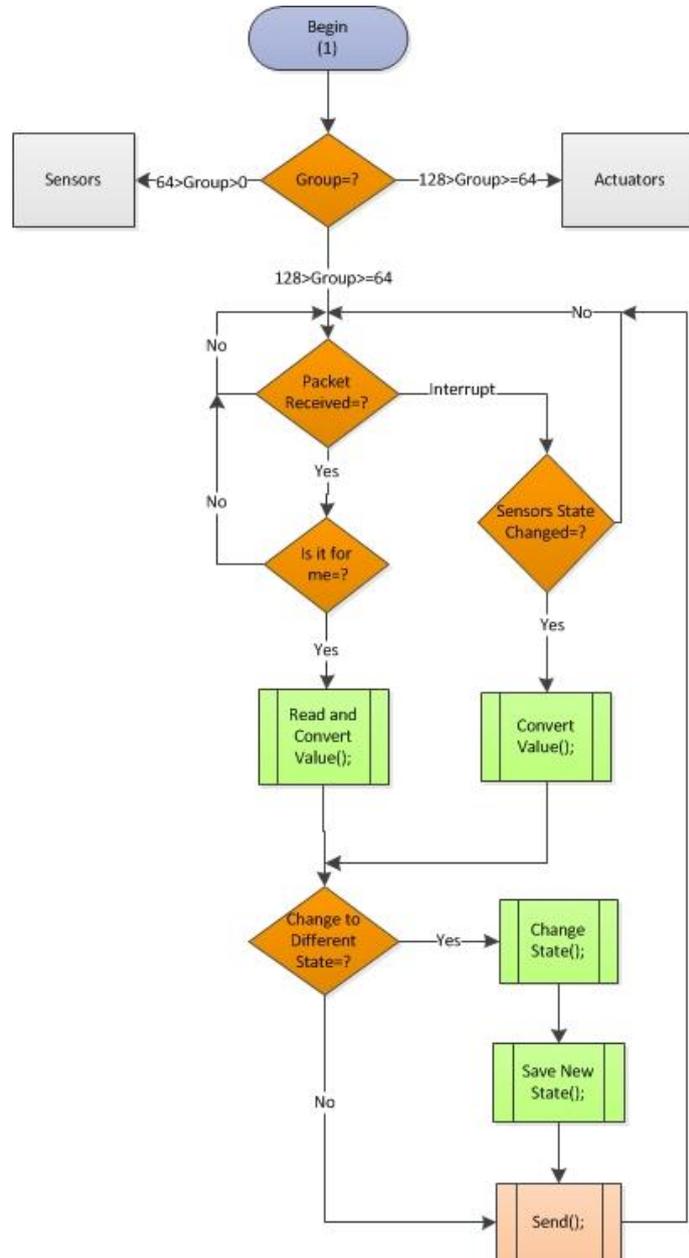


Figura 4.35: Fluxograma de funcionamento de um agregado.

Após a inicialização de todas as configurações necessárias, o agregado descrito deverá aguardar por ordens do *gateway* ou de outro dispositivo da rede, procedendo como

os actuadores ON/OFF descritos anteriormente. No entanto, neste tipo de dispositivos é possível definir uma comutação das saídas, após a detecção de uma alteração no sensor capacitivo ou de corrente, enviando de seguida uma mensagem para o endereço *broadcast* do protocolo B-Live Wireless.

Quanto ao esquema de montagem é bastante mais complexo que todos os dispositivos apresentados anteriormente, no entanto toda a lógica de projecto e desenvolvimento são mantidos. Assim, é apresentado na Figura 4.36 o esquema geral de ligação do dispositivo agregado.

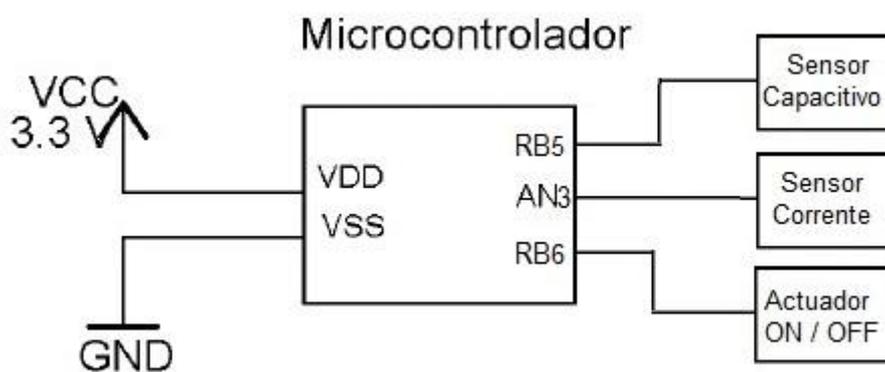


Figura 4.36: Esquema de ligação de um agregado.

Os esquemas de ligação dos sensores e actuadores foram omitidos para facilitar a compreensão dos mesmos. Por fim, no caso de o agregado utilizar duas funcionalidades que partilhem o mesmo pino de entrada/saída, este deverá ser modificado segundo a convenção presente na Tabela 4.13.

Função	Pino primário	Pino secundário
Sensor digital	RB5	RB6
Sensor analógico	AN3	AN2
Actuador	RB6	RB5
Alimentação	RB7	-

Tabela 4.13: Convenção de utilização de pinos de entrada e saída.

# CAPÍTULO 5

---

## 5. Validação

Como referido no capítulo introdutório, o sistema B-Live Wireless foi desenvolvido com a finalidade de possibilitar o controlo e gestão dos equipamentos presentes numa habitação comum, permitindo o auxílio a pessoas idosas com mobilidade reduzida ou outros utilizadores. Contudo, este princípio é posto em causa na presença de falhas ou acções erradas por parte do sistema.

Recorrendo à análise crítica dos requisitos necessários para a implementação de um protocolo de comunicação, é possível constatar que tanto a segurança, como a robustez do sistema, são aspectos fulcrais a ter em consideração. São também importantes os tempos de resposta e vida do mesmo. Tendo isto em atenção, após o desenvolvimento do produto, é necessária uma fase exaustiva de testes, de maneira a detectar e corrigir possíveis falhas nos dispositivos, bem como identificar as suas limitações. Por fim, a simplicidade de utilização e custo de instalação, apesar de serem aspectos relevantes, não serão abordados nesta fase por se tratar de um sistema protótipo.

De maneira a efectuar uma análise objectiva das características referidas anteriormente, é necessário em primeiro lugar, destacar os elementos passíveis de serem avaliados.

Robustez – Os dispositivos sensores e actuadores operam de forma ininterrupta; garantem mecanismos de retransmissão em caso de falha de comunicação; produzem e

enviam dados fidedignos (no caso dos actuadores é também necessário verificar se recebem de forma correcta).

Latência e Jitter – Os dispositivos enviam nas janelas temporais correctas; medição do tempo desde activação dos sensores até recepção de informação no servidor; medição do tempo desde um pedido de actuação do utilizador até mudança de estado dos actuadores e verificação de desvios e atrasos no envio de *trigger packets*.

Autonomia – Medição do consumo dos dispositivos quando inactivos (*sleep*) e medição do consumo do dispositivo activo.

Segurança – Apesar de estar previsto no protocolo a utilização de encriptação AES, o demonstrador a ser instalado no Laboratório de Gerontologia não contempla esta funcionalidade. No entanto, é usado o mecanismo de autenticação de mensagens através do *Message Integrity Code*, apresentado no capítulo 2 desta dissertação.

O teste e análise de todos estes aspectos é bastante complexo e moroso, pelo que foi decidido efectuar apenas a avaliação da robustez do sistema B-Live Wireless, visto ser este o requisito mais crítico para o piloto a instalar na ESSUA, deixando para trabalho futuro a avaliação dos restantes elementos. Foi assim elaborado um sistema de teste de robustez que pretende responder aos vários requisitos enunciados, sendo a metodologia e os resultados apresentados nos seguintes subcapítulos.

## 5.1. Metodologia

Para uma avaliação mais simples e gradual do sistema, foram estabelecidas duas fases de teste distintas: a primeira destinada a uma avaliação individual de cada funcionalidade e a segunda a uma avaliação do desempenho global do sistema.

A primeira fase de testes contou com um exemplar de cada dispositivo, tendo este sido escolhido aleatoriamente. Cada elemento alvo de teste, foi activo cerca de 50 vezes, sendo os resultados captados por um *sniffer* (Zena™ da Microchip) [36]. Este dispositivo opera na banda dos 2.4Ghz e regista os pacotes conformes com o protocolo IEEE 802.15.4, que foram transmitidos num determinado canal de comunicação. No caso dos sensores de temperatura e luminosidade que monitorizam o ambiente da habitação a cada 140 segundos, foram efectuadas apenas 20 activações (aquecimento e arrefecimento no caso do sensor de temperatura e abertura e fecho de uma lâmpada no caso do sensor de luminosidade), devido ao seu longo período de espera. Estes resultados foram posteriormente estudados numa aplicação de análise de redes *wireless* (Mi-Wi™ da Microchip) [37], que permite observar as tramas transmitidas, bem como o instante de transmissão entre cada uma.

Após a conclusão da primeira fase, foi necessário efectuar testes aos restantes dispositivos do sistema. Assim, em primeiro lugar, foi identificada a informação de interesse a recolher, tendo sido elaborado um dispositivo, que permitiu recolher e filtrar essa informação, permitindo posteriormente um tratamento dos dados adquiridos.

Para isso, utilizou-se uma placa  $\mu$ MRFs (abordada no sub-capítulo 3.1) de maneira a receber os pacotes de estado enviados pelos sensores e actuadores, pacotes de actuação do *gateway* e pacotes de *acknowledge* do controlador. Foi desenvolvido um *firmware* específico para esta placa a fim de seleccionar a informação de interesse de cada pacote recebido, sendo eliminados os campos de início e fim da trama, assim como do nível da bateria. Nas figuras seguintes é possível observar os campos recolhidos (laranja) e filtrados (cinzento) dos vários tipos de trama.



Figura 5.1: Selecção de campos de interesse de trama de estado



Figura 5.2: Seleção de campos de interesse de pedido de actuação do gateway



Figura 5.3: Seleção de campos de interesse de um acknowledge do controlador

Posteriormente, é adicionada a data e hora de recepção da trama, um número de identificação da mensagem e para cada endereço, atribuído um nome relacionado com a sua função (por exemplo, “interruptor WC” ou “actuador lâmpada quarto”) de maneira a facilitar a leitura. Por fim, esta informação é enviada pela porta-série (*baudrate 57600, 1 start bit, 2 stop bits no parity*) para um terminal de um PC que regista e armazena toda a informação num documento único. Cada linha do ficheiro corresponde a uma trama recebida, como se pode observar na Figura 5.4.

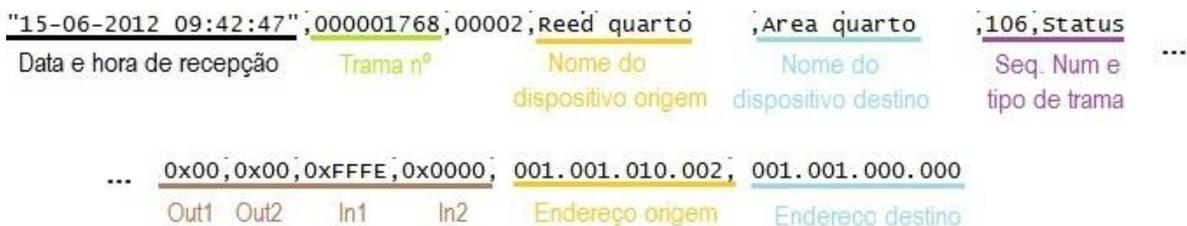


Figura 5.4: Exemplo de uma trama recebida pelo sistema de registo de eventos.

Após a implementação deste sistema (*Event logger*), foi definido o modelo de testes. Este consistiu, em primeiro lugar, em numerar cada dispositivo de acordo com a sua ordem de integração no sistema B-Live Wireless (dispositivo mais recente numerado com 1). De seguida, para cada elemento, foi identificada a informação relevante a observar, tendo sido elaborada uma folha de testes individual (anexo D). Por fim, foi decidido o plano diário de testes.

O plano diário de testes contou com a colaboração de pessoas “exteriores” ao sistema, consistindo na activação, de hora a hora dos dispositivos do piloto, seguindo a numeração pré-determinada. De forma a agilizar o processo de leitura de dados foi acrescentado ao *Event logger* uma funcionalidade para identificação do início e fim de cada teste, através da escrita de uma mensagem de “Check ON” e “Check OFF”, necessitando os utilizadores apenas de carregar no *push-button* da placa  $\mu$ MRFs. Os dispositivos sujeitos a teste são os que irão ser utilizados no piloto do Laboratório de Gerontologia da ESSUA. A Tabela 5.1 apresenta os vários dispositivos desenvolvidos.

#	Dispositivo	Divisão	Função
1	Sensor PIR	Quarto	Detecção de movimento
2	Sensor PIR	WC	Detecção de movimento
3	Sensor Capacitivo	WC	Interruptor para lâmpada
4	Sensor Magnético	WC	Detectar abrir/fechar portas
5	Sensor Magnético	Quarto	Detectar abrir/fechar portas
6	Sensor Fumo	Quarto	Detecção de fumo
7	Sensor Piezoresistivo	Quarto	Detecção de presença em cama 1
8	Sensor Piezoresistivo	Quarto	Detecção de presença em sofá 2
9	Sensor Piezoresistivo	Sala	Detecção de presença em sofá 1
10	Sensor Piezoresistivo	Sala	Detecção de presença em cama 2
11	Actuador ON / OFF	Quarto	Actuador lâmpada
12	Actuador ON/OFF	Quarto	Actuador porta
13	Actuador ON/OFF	Sala	Actuador electroválvula
14	Sensor Temperatura	Sala	Medir temperatura
15	Sensor Luminosidade	Sala	Medir luminosidade
16	Actuador ON/OFF com Sensor de Corrente	Sala	Ligar e desligar tomada e medir corrente consumida
17	Sensor Fumo	Sala	Detecção de fumo
18	Sensor Capacitivo	Quarto	Interruptor para lâmpada
19	Actuador Estores	Sala	Abrir e fechar estores

Tabela 5.1: Numeração dos dispositivos em teste.

A numeração utilizada é respeitante à ordem com que os vários dispositivos foram sendo construídos, não estando agrupados por função a desempenhar.

## 5.2 Resultados

Após o desenvolvimento de todas as ferramentas necessárias, foi iniciada a fase de testes. A tabela seguinte resume a informação recolhida após a primeira fase de testes.

#	Dispositivo	S (Nº)	R1 (Nº)	R2 (Nº)	F (Nº)	T (Nº)	PR (%)	PS (%)	PF (%)
1	Sensor Mag.	98	0	1	1	100	1.0	99.0	1.0
2	Sensor PIR	96	4	0	0	100	4.0	100.0	0.0
3	Sensor Capacitivo	93	6	1	0	100	7.0	100.0	0.0
4	Actuador ON /OFF	100	0	0	0	100	0.0	100.0	0.0
5	Sensor Piezoeléctrico	100	0	0	0	100	0.0	100.0	0.0
6	Sensor Fumo	96	3	1	0	100	4.0	100.0	0.0
7	Sensor Temperatura	20	0	0	0	20	0	100.0	0.0
8	Sensor Luminosidade	20	0	0	0	20	0	100.0	0.0
9	Actuador Estores	100	0	0	0	100	0.0	100.0	0.0
10	Actuador c/ sensor corrente	98	2	0	0	100	2.0	100.0	2.0

**Lengenda:** S - Transmissão com sucesso sem retransmissões; R1 - Transmissão com sucesso após 1 retransmissão; R2 - Transmissão com sucesso após 2 retransmissões; F - Transmissões falhadas; T - Total de transmissões; PR - Percentagem de retransmissões; PS - Percentagem de sucesso; PF - Percentagem de falha

Tabela 5.2: Resultados dos testes individuais (1ª fase)

Os resultados apresentados foram bastante positivos, tendo sido detectada, no entanto, uma falha de mensagem. Em relação às retransmissões detectadas, com excepção

do sensor capacitivo (que por necessitar da recepção da mensagem de *acknowledge* do controlador e de estado do actuador ON/OFF está mais sujeita a falhas), a percentagem de retransmissões situou-se abaixo dos 5% em todos os dispositivos.

Em relação ao teste global do sistema, embora não podendo contar com todos os dispositivos previstos para o piloto, permitiu realizar o ensaio aos elementos numerados de 1 a 14. Na Figura 5.5 é possível observar um diagrama temporal com os resultados obtidos durante um dia de testes (diagrama completo no anexo E).

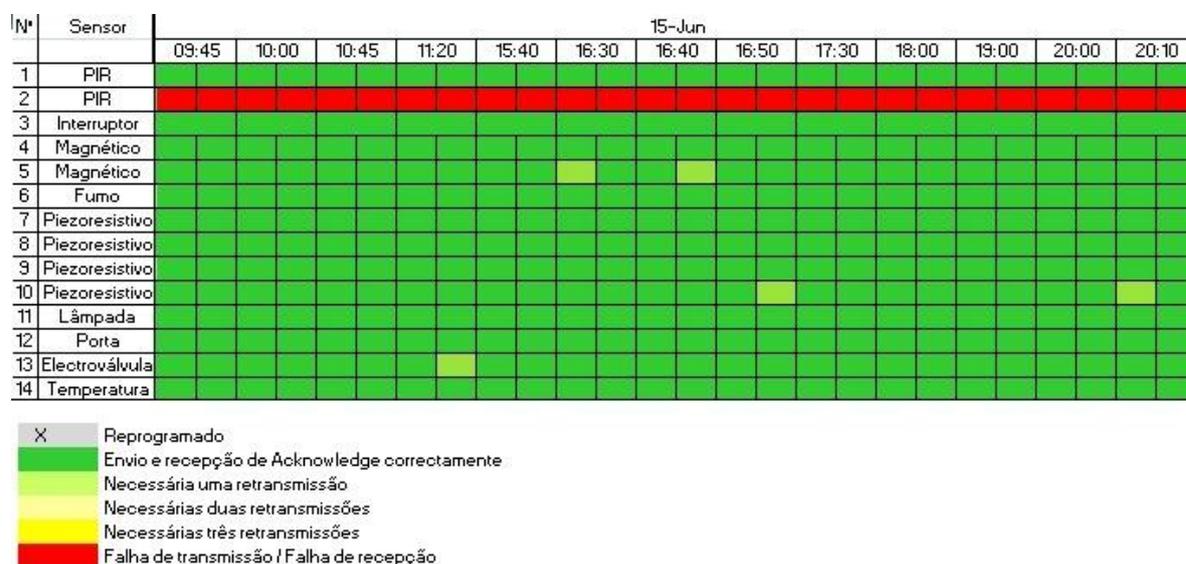


Figura 5.5: Resultados de um dia de teste global ao sistema (2ª fase)

Para se visualizar os resultados com maior detalhe, foi elaborada a Tabela 5.3 contendo não só o número exacto de transmissões efectuadas, mas também as percentagens de retransmissão, sucesso e falha.

Nº	Dispositivo	S (Nº)	R1 (Nº)	R2 (Nº)	F (Nº)	T (Nº)	PR (%)	PS (%)	PF (%)
1	PIR	90	0	0	0	90	0.0	100.0	0.0
2	PIR	34	2	0	54	90	2.2	40.0	60.0
3	Interrupt.	45	0	0	0	45	0.0	100.0	0.0
4	Magnético	88	2	0	0	90	2.2	100.0	0.0
5	Magnético	86	4	0	0	90	4.4	100.0	0.0
6	Fumo	89	1	0	0	90	1.1	100.0	0.0
7	PiezoRes.	88	1	1	0	90	2.2	100.0	0.0
8	PiezoRes.	89	1	0	0	90	1.1	100.0	0.0
9	PiezoRes.	76	10	4	0	90	15.6	100.0	0.0
10	PiezoRes.	87	3	0	0	90	3.3	100.0	0.0
11	Act. On/Off	90	0	0	0	90	0.0	100.0	0.0
12	Act. On/Off	90	0	0	0	90	0.0	100.0	0.0
13	Act. On/Off	89	1	0	0	90	1.1	100.0	0.0
14	Temperatura	90	0	0	0	90	0.0	100.0	0.0

**Legenda:** S - Transmissão com sucesso sem retransmissões; R1 - Transmissão com sucesso após 1 retransmissão; R2 - Transmissão com sucesso após 2 retransmissões; F - Transmissões falhadas; T - Total de transmissões; PR - Percentagem de retransmissões; PS - Percentagem de sucesso; PF - Percentagem de falha

Tabela 5.3: Resultados do teste global ao sistema

Na tabela apresentada estão descritos o número de transmissões com sucesso, retransmissões e falhas dos vários sensores e actuadores envolvidos nos testes, sendo de seguida calculada a percentagem de retransmissões efectuadas, percentagem de mensagens que chegaram com sucesso ao servidor e falhadas.

## 5.3 Discussão

Os testes realizados aos vários dispositivos sensores e actuadores desenvolvidos no âmbito desta dissertação, permitiram recolher informações importantes sobre as garantias de robustez dadas pelo sistema. Em relação ao teste individual a cada dispositivo, os resultados foram positivos, tendo sido verificada apenas uma falha de transmissão (mensagem não chegou ao servidor), num total de 840 transmissões.

Após análise da falha através do registo do analisador de rede *wireless*, foi verificado que o sensor magnético apesar de ter enviado uma mensagem, não recebeu *acknowledge* do controlador e não accionou os mecanismos de retransmissão. Uma possível explicação pode estar no facto do *sniffer* de redes *wireless* não ter captado a mensagem de *acknowledge* do controlador, apesar de esta ter sido enviada, o que explicaria a não retransmissão por parte do sensor.

Outro aspecto a ser analisado é o número de retransmissões necessárias (inferior a 2%). Apesar de ser um valor bastante reduzido, é importante abordar as suas possíveis causas, visto se reflectirem num maior consumo de bateria. Uma possível justificação, pode estar no facto de o controlador de divisão (responsável por efectuar o *acknowledge*) não estar situado num local elevado da divisão, por ainda se encontrar em teste, estando as comunicações sujeitas a maiores interferências de obstáculos presentes na sala. Por fim, através do *software* de análise de redes *wireless*, foi possível verificar que todos os dispositivos responderam dentro da janela temporal correcta (*Contention Window*), eliminando a ocorrência de colisões entre pacotes.

Quanto à fase de avaliação global do sistema, apesar do período de teste ter sido curto, é possível retirar conclusões relevantes sobre os mecanismos de aumento de fiabilidade utilizados (retransmissões) e coerência da informação recolhida. Esta contou com 14 elementos, sendo que os resultados foram bastante satisfatórios. Em todos, com excepção do PIR nº2, foi atingido 100% de sucesso de transmissão, significando que os pedidos efectuados pelo utilizador chegaram ao servidor com sucesso. Quanto ao dispositivo PIR nº2, após a conclusão da fase de testes foi examinado, tendo sido concluído que o problema era originado por um erro durante a fase de programação. Após a sua reprogramação, não foram identificados problemas.

Outro aspecto a considerar é o número de retransmissões efectuadas, que, apesar de bastante reduzido (aproximadamente 2.9%, sendo que 82% destas foram bem sucedidas à primeira tentativa), se verificou em vários dispositivos. As retransmissões deverão actuar sempre que existe uma falha de transmissão ou recepção. Para além disso, a maior/menor ocupação do canal é um factor a ter em conta, devido à comunicação com CSMA/CA utilizada na janela de contenção. Assim, o facto de existirem retransmissões, reforça a sua extrema importância neste tipo de comunicações, tendo no entanto como inconveniente, um maior consumo da bateria. Por fim, é necessário referir que a fase de testes dos dispositivos se irá prolongar até à data de instalação do piloto da ESSUA, sendo que as ferramentas desenvolvidas no âmbito desta avaliação, poderão ser um importante contributo para a detecção de possíveis falhas ou limitações de uso.

# CAPÍTULO 6

---

## 6. Conclusão

Nas últimas décadas tem-se registado um aumento significativo da população idosa nos países mais desenvolvidos, sendo que Portugal não é excepção. Constata-se que existe um desfasamento entre a procura de serviços de apoio social e a oferta disponível para pessoas de idade avançada e/ou com mobilidade reduzida. Neste sentido, o projecto *Living Usability Lab* pretende ser uma ferramenta de auxílio a esta população, através da criação de um ambiente habitacional controlado que devolva a autonomia a estas pessoas e melhore a sua qualidade de vida.

A presente dissertação insere-se neste projecto através de um dos seus co-promotores, contribuindo para um sistema de domótica habitacional, o B-Live Wireless. Este sistema consiste numa rede local de comunicações sem-fios que suporta um conjunto alargado de sensores e actuadores. No âmbito desta dissertação foram projectados, integrados e avaliados diversos sensores e actuadores no sistema B-Live Wireless.

Todos os dispositivos propostos foram desenvolvidos com sucesso, sendo que durante o processo de integração foram necessárias algumas alterações ao protocolo inicialmente proposto, de maneira a uniformizar o funcionamento dos elementos implementados. Para além disso, toda a camada protocolar desenvolvida durante a implementação dos sensores e actuadores foi preparada para suportar uma integração fácil de novos dispositivos.

Os resultados apresentados demonstram a elevada robustez do sistema, constituindo uma importante fonte de informação sobre as potencialidades e limitações do mesmo. Até à implementação dos dispositivos no Laboratório de Gerontologia da ESSUA (durante o mês de Setembro), todos os dispositivos permanecerão em fase de testes ainda que, até ao momento, não foram detectadas falhas de funcionamento.

Como trabalho futuro, deverá ser continuada a elaboração e integração de novos sensores e actuadores no sistema B-Live Wireless, através das bibliotecas desenvolvidas e abordadas nos capítulos anteriores. É também necessária uma avaliação mais alargada do desempenho do sistema, após a sua instalação no Laboratório de Gerontologia da ESSUA, segundo a metodologia apresentada.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] PORDATA(2012). Taxa bruta de mortalidade e taxa de mortalidade infantil. Acedido em 29 de Março de 2012, em <http://www.pordata.pt/Europa/Taxa+bruta+de+mortalidade+e+taxa+de+mortalidade+infantil-528>
- [2] BAPTISTA, Vasco José Dias – **B-Live Wireless: Um protocolo de tempo-real para domótica habitacional**. Aveiro, 2011. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro
- [3] MAR, Pedro Germano do – **Sensores e actuadores sem fios para ambientes habitacionais**. Aveiro, 2011. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro
- [4] image source: <http://pplware.sapo.pt/networking/redes-sabe-o-que-e-o-modelo-osi/>
- [5] EnOcean. (2012, Março) Homepage. [Online]. <http://www.enocean.com/>
- [6] Wikipedia (2012). Peer-to-peer . Acedido a 20 de Março de 2012, em <http://en.wikipedia.org/wiki/Peer-to-peer>
- [7] image source:[http://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/white\\_paper/WP\\_EnOcean\\_Technology\\_en\\_Jul11.pdf](http://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/white_paper/WP_EnOcean_Technology_en_Jul11.pdf)
- [8] image source: [http://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/tec\\_docs/EnOceanRadioProtocol.pdf](http://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/tec_docs/EnOceanRadioProtocol.pdf)
- [9] KNX Association. (2012, Março) Homepage. [Online]. <http://www.knx.org/>
- [10] AmberWireless(2012). Low-Cost Konnex Radio Module KNX-RF. Acedido em 8 de Março de 2012, em: <http://amber-wireless.de/280-1-AMB8426-KNX.html>
- [11] image source: [http://www.radiocrafts.com/uploads/rc1180-knx\\_features\\_1\\_1.pdf](http://www.radiocrafts.com/uploads/rc1180-knx_features_1_1.pdf)
- [12] image source: [http://www.knx.org/fileadmin/downloads/05%20%20KNX%20Partners/03%20%20Becoming%20a%20KNX%20Scientific%20Partner/200509%20Scientific%20Conference%20Papers%20Pisa/06\\_Weinzierl%20Eng\\_KnxRf.pdf](http://www.knx.org/fileadmin/downloads/05%20%20KNX%20Partners/03%20%20Becoming%20a%20KNX%20Scientific%20Partner/200509%20Scientific%20Conference%20Papers%20Pisa/06_Weinzierl%20Eng_KnxRf.pdf)
- [13] ZigBee Alliance. (2012, Abril) Homepage. [Online]. <http://www.zigbee.org/>
- [14] IEEE. (2012, Abril) Homepage. [Online] <http://www.ieee.org/>
- [15] Micro I/O. (2012) Micro I/O – Serviços de Electrónica, Lda. [Online]. <http://www.microio.pt/>
- [16] image source: <http://tudosobrerede.blogspot.pt/2009/05/tipos-de-topologia-de-rede.html>
- [17] image source: [http://www.prism.uvsq.fr/~mogue/SENSORS/Sensor%20%20Net/MAC%20pro/zigbee\\_802.15.4.pdf](http://www.prism.uvsq.fr/~mogue/SENSORS/Sensor%20%20Net/MAC%20pro/zigbee_802.15.4.pdf)
- [18] ZigBee Alliance (2012). ZigBee Building Automation Overview. Acedido em 15 de Março de 2012, em: <http://www.zigbee.org/Standards/ZigBeeBuildingAutomation/Overview.aspx>
- [19] Bluetooth. (2012, Abril) Homepage. [Online]. <http://www.bluetooth.com>
- [20] Wi-fi Alliance. (2012, Abril) Homepage. [Online]. <http://www.wi-fi.org/>
- [21] image source: [http://www.zigbee.org/zigbee/en/events/documents/April2006\\_ESC\\_Presentations/043120r11ZB\\_TAGZigBeeV10Architecture%5B1%5D.pdf](http://www.zigbee.org/zigbee/en/events/documents/April2006_ESC_Presentations/043120r11ZB_TAGZigBeeV10Architecture%5B1%5D.pdf)

- [22] Z-Wave. (2012, Abril) Homepage. [Online]. <http://www.z-wave.com/>
- [23] image source: <http://www.eilhk.com/en/product/Datasheet/Zensys/SDS10243-2%20-%20Z-Wave%20Protocol%20Overview.pdf>
- [24] Microchip (2012). MPLAB ICD 3 In-Circuit Debugger. Acedido em 3 de Maio de 2012, em, [http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en537580&redirects=icd3](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en537580&redirects=icd3)
- [25] IEEE 802 (2012). Homepage. [Online]. <http://www.ieee802.org/3/>
- [26] Bartolomeu, P.; Fonseca, J.; Vasques, F.; , "Implementing the wireless FTT protocol: A feasibility analysis, "Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2010 IEEE Conference on, vol., no., pp.1-10, 13-16 Sept. 2010
- [27] P.Bartolomeu and J.A.Fonseca, "Channel Capture in Noisy Wireless Contention-Based Communication Environments" in Proc. of the 8<sup>th</sup> IEEE Int. Workshop on Factory Communication Systems, France, May 2010, pp. 23-32
- [28] Microchip (2012). MCP9700 Acedido a 1 de Março de 2012, em: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en022289>
- [29] OSRAM (2012). Ambient Light Sensors General Application Note. Acedido a 26 de Maio em, <http://catalog.osram-os.com>
- [30] Robot Electronics (2012). SFR 02 Ultrasonic Range Finder. Acedido a 14 de Maio de 2012, em <http://www.robot-electronics.co.uk/hm/srf02techSer.htm>.
- [31] AKI (2012). Detector 180° Branco. Acedido a 20 Maio de 2012, em <http://www.aki.pt/produto.aspx?categoryid=2025&productid=14947&sid=0>
- [32] Kingdun (2012). Stand alone smoke alarm. Acedido a 1 de Maio de 2012, em [http://www.kingdun.com/products\\_detail/&productId=6a0ea978-003a-409e-a8fe-8a87812bd016&comp\\_stats=comp-FrontProducts\\_list01-1315988830601.html](http://www.kingdun.com/products_detail/&productId=6a0ea978-003a-409e-a8fe-8a87812bd016&comp_stats=comp-FrontProducts_list01-1315988830601.html)
- [33] Steadlands (2012).FSR 406 Datasheet .Acedido a 14 de Março de 2012, em [www.steadlands.com/ data/interlink/fsr406.pdf](http://www.steadlands.com/data/interlink/fsr406.pdf)
- [34] Allegro MicroSystems, Inc. (2012). ACS756: Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 3 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor. Acedido a 20 de Abril de 2012, em <http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Fifty-To-Two-Hundred-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS756.aspx>
- [35] Omron (2012). PCB Relay Datasheet. Acedido a 20 de Março de 2012, em <http://www.farnell.com/datasheets/96357.pdf>
- [36] Microchip (2012). Zena TM Wireless Adapter – 2.4 GHz MRF24J40. Acedido a 18 de Fevereiro de 2012, em [http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en554244](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en554244)
- [37] Microchip (2012). Microchip – Wireless and Wired Solutions. Acedido a 15 de Fevereiro de 2012, em [http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=2664&param=en520414&redirects=miwi](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2664&param=en520414&redirects=miwi)

# Anexo A

As tabelas seguintes apresentam os valores referentes ao endereçamento de um dispositivo no protocolo B-Live Wireless.

SRC Sector – Sector do dispositivo de origem	
Valor (hex)	Descrição
0x00	Dispositivo não configurado / Dispositivo não identificado
0x01 a 0xFD	Sector do dispositivo
0xFE	Dispositivo móvel
0xFF	Reservado

Tabela A.1: Valores do campo Src. Sct / Dst. Sct.

SRC Room – Room do dispositivo de Origem	
Valor (dec)	Descrição
0	Dispositivo sem configuração / Dispositivo não identificado
[ 1 : 30 ]	Quartos
[ 31 : 60 ]	Casa de Banho
[ 61 : 70 ]	Cozinha
[ 71 : 80 ]	Corredor
[ 81 : 90 ]	Varanda
[ 91 : 95 ]	Cave
[ 96 : 100 ]	Sotão
[101 : 110]	Jardim
[ 111 : 120 ]	Garagem
[ 121 : 125 ]	Dispensa
[ 126 : 150 ]	Escritório
[ 151 : 252 ]	Livres
253	Dispositivo móvel
254	Gateway
255	Reservado

Tabela A.2: Valores do campo Src. Room / Dst.Room.

Blive Address SRC Group	
Valor (dec)	Descrição
0	Dispositivo sem configuração / Dispositivo não identificado
1 a 63	Grupo de Sensores
64 a 127	Grupo de Actuadores
128 a 195	Dispositivos Agregados
196 a 250	Dispositivos Especiais
251	Tags localização
252	Monitorização de Sinais Vitais
253	Controlador de divisão
254	Gateways
255	Reservado

Tabela A.3: Valores do campo Src. Group / Dst.Group.

SRC ID – ID do dispositivo	
Valor (dec)	Descrição
0	Dispositivo sem configuração / Dispositivo não identificado
1	Controlador de divisão
[ 2 : 254 ]	Livres
255	Reservado

Tabela A.4: Valores do campo Src. ID / Dst.ID.

## Anexo B

A tabela seguinte apresenta os valores referentes ao campo “Out 1” e “Out 2” de “Data” de uma trama B-Live Wireless enviada do servidor para um actuador.

OUT $n$ – Estado da saída $n$	
Valor (hex)	Descrição
0x00	Sem qualquer alteração
0x01	Desliga a saída
0x02 a 0xFD	Varia a intensidade da saída (opcional)
0xFE	Liga a saída
0xFF	Inverte o estado da saída

Tabela B.1: Valores referentes ao campo Out 1 e Out 2

A tabela seguinte apresenta os valores referentes ao campo “In 1” e “In 2” de “Data” de uma trama B-Live Wireless enviada por um sensor para um actuador.

In $n$ – Estado da saída $n$	
Valor (hex)	Descrição
0x0000	Sem qualquer alteração
0x0001	Desliga a saída
0x0002 a 0xFFFF	Varia a intensidade da saída (opcional)
0xFFFE	Liga a saída
0xFFFF	Inverte o estado da saída

Tabela B.2: Valores referentes ao campo In 1 e In 2

## Anexo C

A tabela seguinte apresenta os valores referentes ao campo “Out 1” e “Out 2” de “Data” de uma trama de estado do protocolo B-Live Wireless enviada por um actuador.

OUT $n$ – Estado da saída $n$	
Valor (hex)	Descrição
0x00	Sem qualquer alteração
0x01	Desliga a saída
0x02 a 0xFD	Varia a intensidade da saída (opcional)
0xFE	Liga a saída
0xFF	Inverte o estado da saída

Tabela C.1: Valores do campo Out 1 e Out 2 numa trama de estado

A tabela seguinte apresenta os valores referentes ao campo “In 1” e “In 2” de “Data” de uma trama de estado do protocolo B-Live Wireless enviada por um sensor.

Sensores		
Grupo	Descrição	Gama de valores
1	Interruptor simples	0: sem leitura 1: desligado 65534: ligado 65535: toggle
10	Sensor de contacto	0: sem leitura 1: não detectado 65534: detectado 65535: reservado
11	Sensor de proximidade	0: sem leitura 1: longe 65534: próximo 65535: reservado
12	Sensor de movimento	0: sem leitura 1: sem movimento 65534: com movimento 65535: reservado
13	Sensor de impacto	0: sem leitura 1: não detectado 65534: detectado 65535: reservado
16	Detector de fumo	0: sem leitura 1: não detectado 65534: detectado 65535: reservado
30	Sensor de temperatura	0: sem leitura 32768 : 0° Escala: 1° [1-32768]: temp<0 ]32768-65533]: temp>0 65534: temperatura detectada 65535: reservado
31	Sensor de corrente	0: sem leitura 32768 : 0 mA Escala: 1mA [1-32768]: A<0 ]32768-65533]: A>0 65534: corrente detectada 65535: reservado
40	Sensor de distância	0: sem leitura 1 : 0 mm 65534: 65533 mm 65535: reservado
42	Sensor de luminosidade	0: sem leitura 1 : 0 lm 65534: 65533 lm 65535: reservado
44	Sensor de Pressão	0: sem leitura 1: não detectado 65534: detectado 65535: reservado

Tabela C.2: Valores do campo In 1 e In 2 numa trama de estado



# Anexo E

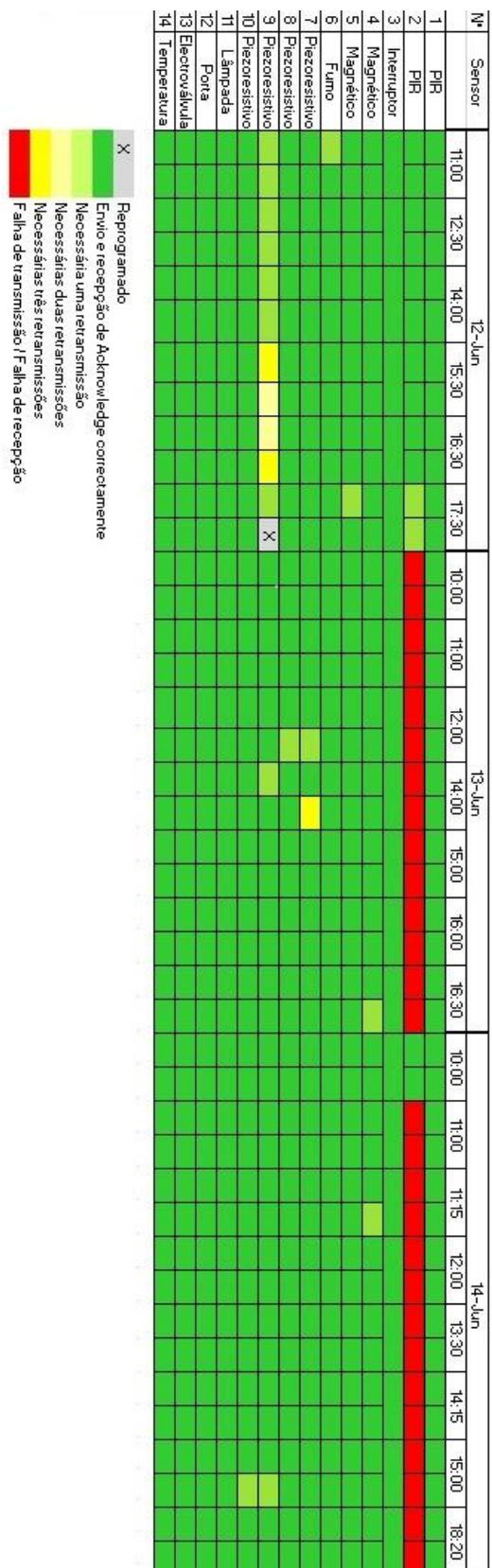


Figura E: Diagrama temporal dos resultados obtidos na fase de teste global do sistema

